



TUGAS AKHIR - RC-14-1501

PERENCANAAN GEOMETRIK JALAN REL SOCAH - SAMPANG

SHARA HAZUBI
NRP 3111100092

Dosen Pembimbing :
Budi Rahardjo, ST., MT.

JURUSAN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015



FINAL PROJECT - RC-14-1501

RAILWAY DESIGN BETWEEN SOCAH - SAMPANG

SHARA HAZUBI
NRP 3111100092

Advisors :
Budi Rahardjo, ST., MT.

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
Faculty of Civil Engineering and Planing
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015

PERENCANAAN GEOMETRIK JALAN REL SOCAH – SAMPANG

TUGAS AKHIR

**Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Studi Transportasi
Progam Studi S-1 Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Oleh:
SHARA HAZUBI
NRP 3111100092**

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:

1. Budi Rahardjo, ST., MT. (Pembimbing)



**SURABAYA
JULI, 2015**

PERENCANAAN GEOMETRIK JALAN REL SOCAH – SAMPANG

Nama : SHARA HAZUBI
NRP : 3111100092
Dosen Konsultasi : BUDI RAHARDJO, ST.,MT
Jurusan : TEKNIK SIPIL FTSP -ITS

ABSTRAK

Pemerintah dalam Rencana Induk Perkeretaapian Nasional (RIPNas) berupaya untuk mengembangkan moda transportasi kereta api. Transportasi kereta api ini diharapkan menjadi penggerak utama dalam perekonomian nasional. Ditargetkan pada tahun 2030, jaringan rel di Indonesia tersebar di seluruh pulau besar di Indonesia. Salah satu pulau yang ditargetkan memiliki jaringan rel yaitu Pulau Madura. Salah satu jalur yang akan beroperasi nantinya di Pulau Madura adalah jalur Socah – Sampang. Jalur ini memiliki potensi yang tinggi, karena nantinya akan beroperasi pelabuhan peti kemas internasional di Socah.

Metode yang digunakan dalam menyelesaikan permasalahan adalah mengumpulkan data sekunder, menentukan rute terbaik dari beberapa alternatif rute, membuat gambar geometrik dari rute yang terpilih dan membuat rancangan anggaran biaya (RAB).

Dalam tugas akhir ini, direncanakan jalan rel dengan panjang sekitar 67 km dengan lima stasiun kereta api. Jalur yang digunakan merupakan jalur ganda (double track) dengan kecepatan rencana 120 km/jam dan jari-jari minimum sebesar 780 m. Total biaya yang dibutuhkan dalam pembangunan jalan rel ini sebesar Rp 1.081.898.010.000,-.

Kata kunci: *Trase Jalan Rel, RIPNas, Jalan Rel Socah - Sampang*

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

RAILWAY DESIGN BETWEEN SOCAH - SAMPANG

Name : SHARA HAZUBI
NRP : 3111100092
Supervisor : BUDI RAHARDJO, ST.,MT
Major : Civil Engineering FTSP-ITS

ABSTRACT

Government in the regulation of “Rencana Induk Perkeretaapian Nasional (RIPNas)” trying to develop mods rail transport. This mods of transportation is expected to be main driving force in the national economy. Targeted by 2030, Indonesia’s rail network spread across the big island in Indonesia..One of the island’s rail network has targeted the island of Madura. One of the lines that will be in operation later in Madura is Socah – Sampang. This line has a high potensial, because later will operate Internasional port in Socah.

The methods used in solving the problem is collecting the secondary data, determining the best route of some alternative routes, creating geometric of the selected routes and create the cost budget plan.

In this final project, the planning of new railway lines is about 67 km with five train stations. Track which is used is double track with planned speed of 120 km/h and minimum radius as big as 780 m. Total budget needed in the construction of the new railway line is Rp 1.081.898.010.000,-.

Keyword: Railway Route, RIPNas, Socah – Sampang Rail Roads

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah Robb Semesta Alam dan Dia tidak memiliki sekutu dalam penciptaan alam ini. Kemudian sholawat dan salam tidak lupa penulis ucapkan untuk Rasulullah SAW beserta para keluarga, sahabat, dan pengikut beliau hingga akhir zaman.

Syukur walhamdulillah atas karunia Allah sehingga penulis diberi kemampuan dan kekuatan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penyelesaian Tugas Akhir ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terimakasih kepada :

1. Orangtua, Ayahanda Salim Haryanto, Ibunda Zulkaffiarti yang selalu memberikan motivasi dan dorongan serta doanya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Budi Rahardjo, ST., MT, selaku dosen wali sekaligus dosen pembimbing yang memberikan arahan kepada penulis selama melaksanakan perkuliahan di Jurusan Teknik Sipil ITS.
3. Ir. Hera Widyastuti, MT.PhD, Istiar, ST., MT, dan Ir. Wahyu Herijanto, MT, selaku dosen penguji yang memberikan banyak arahan, masukan, dan kritikan dalam penyelesaian Tugas Akhir.
4. Seluruh dosen dan karyawan yang tidak dapat disebutkan namanya satu persatu yang membantu penulis selama perkuliahan di Jurusan Teknik Sipil ITS.
5. Saudara-saudara di Sumatera Barat, Abang Rangga Harkaffi, Kakak Lovy Furi Tias Ningrum, Abang Gandha Hafesha, dan Kakak Lissa Novarina yang telah memberi dukungan dan doanya kepada penulis.
6. Teman-teman sipil angkatan 2011 yang telah banyak membantu dan bersedia menjadi bagian dalam perjalanan hidup penulis.

7. Semua pihak yang telah membantu dalam proses penyelesaian Tugas Akhir ini yang tidak bisa disebutkan satu persatu.

Penulis sadari bahwa Tugas Ahkhir yang telah dibuat ini masih jauh dari kesempurnaan, sehingga kritik dan saran sangat dibutuhkan dalam penyempurnaan Tugas Ahir ini. Penulis berharap Tugas Akhir yang telah dibuat ini dapat bermanfaat bagi para peminat Teknik Sipil.

Akhir kata, penulis sebagai penyusun memohon maaf jika ada kesalahan dalam penulisan dan penganalisaan Tugas Akhir ini. Atas perhatian pembaca, penulis sampaikan terimakasih.

Surabaya, Juli 2015

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	III
ABSTRACT	V
KATA PENGANTAR	VII
DAFTAR ISI.....	IX
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah.....	2
1.3. Tujuan.....	3
1.4. Batasan Masalah.....	3
1.5. Manfaat.....	3
1.6. Lokasi	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1. Rencana Jaringan Jalur Kereta Api di Pulau Madura.....	7
2.2. Pemilihan Trase Jalan Rel	7
2.3. Geometrik jalan Rel.....	8
2.2.1. Lengkung Horizontal.....	8
2.2.2. Lengkung Vertikal.....	11
2.2.3. Kelandaian.....	12
2.2.4. Pelebaran Sepur	12
2.2.5. Peninggian Rel.....	13
2.3. Struktur Jalan Rel	15
2.4. Profil Jalan Rel	16
2.5. Perencanaan Bantalan.....	17
2.5.1. Jarak Bantalan	18
2.5.2. Tegangan Bantalan	19
2.6. Penambat Rel.....	20
2.7. Pemasangan Rel	21
2.7.1. Rel Standar dan Rel Pendek	21
2.7.2. Rel Panjang.....	22
2.8. Balas - Subbalas	24
2.8.1. Persyaratan Balas.....	24

2.8.2.	Lapisan Balas.....	24
2.9.	Struktur Badan Jalan Rel.....	26
2.10.	Pengalokasian Ruang untuk Pengoperasian	27
2.11.	Stasiun Kereta Api (Shelter/Tempat Henti).....	30
2.12.	Layout Emplasemen	32
2.13.	Wesel	33
2.14.	Terowongan dan Jembatan	36
2.15.	Perhitungan Rencana Anggaran Biaya	37
BAB III	METODOLOGI.....	39
3.1.	Diagram Alir.....	39
3.1.1.	Identifikasi Masalah.....	40
3.1.2.	Studi Pustaka	40
3.1.3.	Pengumpulan Data.....	40
3.1.4.	Pengolahan Data	40
3.1.5.	Gambar Rencana.....	42
3.1.6.	Perhitungan Rencana Anggaran Biaya	42
3.2.	Kesimpulan dan Saran	42
BAB IV	ANALISA DAN PENENTUAN TRASE.....	43
4.1.	Penentuan Trase Jalan Rel.....	43
4.2.1.	Alternatif Trase Jalan Rel I.....	43
4.2.2.	Alternatif Trase Jalan Rel II	43
4.2.3.	Alternatif Trase Jalan Rel III	43
4.2.4.	Alternatif Trase Jalan Rel IV	43
4.2.	Perencanaan Trase <i>Double Track</i>	43
BAB V	KONSTRUKSI JALAN REL.....	51
5.1.	Perencanaan Geometri Jalan Rel	51
5.1.1.	Koreksi Sudut PI.....	51
5.1.2.	Perencanaan Lengkung Horizontal	56
5.1.3.	Perencanaan Lengkung Vertikal	60
5.2.	Penentuan Profil Jalan Rel.....	61
5.3.	Perencanaan Bantalan.....	64
5.3.1.	Perhitungan Jarak Bantalan	65
5.3.2.	Perhitungan Tegangan Bantalan	66
5.4.	Penambat Rel.....	69
5.5.	Pemasangan Rel.....	71

5.5.1.	Celah Rel Standar dan Rel Pendek	71
5.5.2.	Celah rel panjang	71
5.6.	Perencanaan Balas	72
5.6.1.	Lapisan Balas Atas	72
5.6.2.	Lapisan Balas Bawah	72
5.7.	Perencanaan Emplasemen Stasiun	75
BAB VI RENCANA ANGGARAN BIAYA		81
6.1.	Perhitungan Volume Pekerjaan	81
6.2.	Perhitungan Biaya Pekerjaan	85
BAB VII KESIMPULAN DAN SARAN		103
7.1.	Kesimpulan	103
7.2.	Saran	104
DAFTAR PUSTAKA		105
LAMPIRAN		
BIODATA PENULIS		

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Jari-jari Minimum Lengkung Horizontal	8
Tabel 2. 2 Jari-jari Minimum Lengkung Vertikal	11
Tabel 2. 3 Landai Penentu	12
Tabel 2. 4 Pelebaran Sepur	12
Tabel 2. 5 Peninggian Jalan Rel 1067 mm	13
Tabel 2. 6 Kelas Jalan Rel	15
Tabel 2. 7 Dimensi Penampang Rel	16
Tabel 2. 8 Panjang Minimum Rel Panjang	17
Tabel 2. 9 Besar Celah Untuk Semua Tipe Rel Pada Sambungan Rel Standar dan Rel Pendek	21
Tabel 2. 10 Batas Suhu Pemasangan Rel Standar dan Rel Pendek	22
Tabel 2. 11 Besar celah untuk sambungan rel panjang pada bantalan beton	23
Tabel 2. 12 Batas Suhu Pemasangan Rel Panjang pada Bantalan Beton	23
Tabel 2. 13 Tabel Penampang Melintang Jalan Rel	27
Jarak ruang bangun ditetapkan dapat dilihat pada Tabel 2. 14....	27
Tabel 2. 15 Jarak Ruang Bangun.....	28
Tabel 4. 1 Analisa Pemilihan Trase.....	44
Tabel 5. 1 Koordinat x,y.....	51
Tabel 5. 2 Perhitungan Koreksi Sudut PI	54
Tabel 5. 3 Parameter Lengkung Horizontal	59
Tabel 5. 4 Stasioning Lengkung Horizontal.....	60
Tabel 5. 5 Kelas Jalan Rel 1067 mm.....	62
Tabel 5. 6 Pandrol Clips Produk Delachaux Group	69
Tabel 5. 7 Data Wesel pada Emplasemen STA 00+200	76
Tabel 5. 8 Data Wesel pada Emplasemen STA 19+050	77
Tabel 5. 9 Data Wesel pada Emplasemen STA 34+500	78

Tabel 5. 10 Data Wesel pada Emplasemen STA 50+200.....79

Tabel 5. 11 Data Wesel pada Emplasemen STA 67+100.....80

Tabel 6. 1 Volume Pekerjaan Jalur Kereta Api Socah - Sampang
.....82

Tabel 6. 2 Analisa Harga Satuan86

Tabel 6. 3 Rekapitulasi Rencana Anggaran Biaya100

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Pulau Madura.....	5
Gambar 1. 2 Peta Lokasi Studi.....	6
Gambar 2. 1 Skema Lengkung Vertikal	11
Gambar 2. 2 Penampang Rel.....	17
Gambar 2. 3 Penampang Melintang Jalan Rel pada Bagian Lurus untuk <i>Double Track</i>	26
Gambar 2. 4 Penampang Melintang Jalan Rel pada Lengkungan untuk <i>Double Track</i>	27
Gambar 2. 5 Ruang Bebas Lebar Rel 1067 mm pada Bagian Lurus.....	29
Gambar 2. 6 Ruang Bebas Lebar Jalan Rel 1067 mm pada Lengkungan.....	30
Gambar 2. 11 Emplasemen stasiun jalur ganda.....	32
Gambar 2. 12 Emplasemen stasiun jalur ganda dengan lahan terbatas	33
Gambar 2. 13 Gambar wesel dan bagannya	34
Gambar 2. 14 Wesel Biasa	34
Gambar 2. 15 Wesel Dalam Lengkung	35
Gambar 2. 16 Wesel Tiga Jalur	35
Gambar 2. 17 Wesel Inggris.....	36
Gambar 3. 1 Diagram Alir Perencanaan Jalan Rel.....	39
Gambar 3. 2 Proses Pengolahan Data	41
Gambar 4. 1 Rencana Trase 1	47
Gambar 4. 2 Rencana Trase 2	48
Gambar 4. 3 Rencana Trase 3	49
Gambar 4. 4 Rencana Trase 4	50
Gambar 5. 1 Skema Titik Koordinat PI.....	52
Gambar 5. 2 Skema Lengkung Vertikal	61
Gambar 5. 3 Dimensi Penampang Rel R.54.....	63

Gambar 5. 4 Dimensi Penampang Bantalan.....65

Gambar 5. 5 Tegangan yang Terjadi pada Bantalan.....67

Gambar 5. 6 Penampang Melintang Jalan Rel pada Bagian Lurus
.....75

Gambar 5. 7 Penampang Melintang Jalan Rel pada Lengkungan
.....75

Gambar 5. 8 Emplasemen pada STA 00+20076

Gambar 5. 9 Emplasemen pada STA 19+05077

Gambar 5. 10 Emplasemen pada STA 34+50078

Gambar 5. 11 Emplasemen pada STA 50+20079

Gambar 5. 12 Emplasemen pada STA 67+10080

BIODATA PENULIS



Penulis,
Shara Hazubi adalah anak keempat dari empat bersaudara yang lahir pada 5 Juni 1994 di Bukittinggi. Penulis memulai pendidikan di TK Bhayangkari dan dilanjutkan di SDN 09 Pakan Kurai. Lalu penulis melanjutkan jenjang pendidikan ke SMP Saverius Bukittinggi pada tahun 2005. Pada tahun 2008 penulis meneruskan pendidikannya di SMAN 5 Bukittinggi. Penulis diterima di Jurusan Teknik Sipil ITS melalui ujian SNMPTN pada tahun 2011. Di kampus inilah penulis mulai hidup jauh dari orang tua sehingga mendapatkan banyak pengalaman dan ilmu yang berharga. Selama duduk di bangku kuliah, penulis sempat aktif di lembaga dakwah kampus. Penulis dapat dihubungi melalui e-mail shara.hazubi@gmail.com

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pemerintah dalam Rencana Induk Perkeretaapian Nasional berencana untuk terus mengembangkan moda transportasi kereta api guna mewujudkan transportasi yang efektif, efisien dan ramah lingkungan. Pengembangan moda transportasi ini diharapkan mampu menjadi penggerak utama dalam perekonomian nasional. Untuk itu perlu dilakukan peningkatan kualitas dan kuantitas dari fasilitas perkeretaapian itu sendiri.

Jaringan rel di Indonesia sendiri, masih tergolong sedikit dan tidak merata. Pada tahun 2010 panjang rel di Indonesia hanya mencapai sekitar 6.714 km, tetapi yang beroperasi hanya sekitar 4.678 km dan 300 km rel baru yang merupakan bagian dari proyek *double track*. Hal ini jauh berbeda dengan China yang memiliki rel dengan panjang lebih dari 91.000 km dan di India sepanjang 65.000 km (Fathoni & Damardono, 2011).

Sedangkan di Pulau Madura, jalur kereta api yang ada sudah tidak beroperasi. Jalur kereta api di Madura pertama kali dibuka oleh Pemerintah Hindia Belanda pada tahun 1898. Tetapi pada masa pendudukan Jepang, banyak rel yang dibongkar oleh Jepang untuk dijadikan senjata dan pada masa kemerdekaan jalur kereta yang tersisa hanya jalur Pamekasan sampai Kamal. Namun seiring dengan perkembangan jaman, moda transportasi kereta api mulai ditinggalkan dan beralih ke angkutan lain. Sehingga pada tahun 1987, jalur kereta api di Madura resmi ditutup. Dan kondisi jalur kereta api yang ada di Madura pada umumnya dalam kondisi rusak (Inka, 2014).

Diperkirakan pada tahun 2030, perpindahan orang di Pulau Madura mencapai 2.279.460 (Kementrian Perhubungan Ditjen Perkeretaapian, 2011). Untuk memfasilitasi perpindahan orang yang terus meningkat maka di Pulau Madura perlu dibangun jaringan kereta api. Daerah yang direncanakan akan dilalui oleh jalur kereta api yaitu:

- Kamal-Socah-Bangkalan
- Kamal-Sampang-Pamekasan-Sumenep
- Bangkalan-Socah-Sampang-Pamekasan-Sumenep.

Dari aspek ekonomi, pembangunan jaringan ini akan mendukung pembangunan ekonomi yang ada di Pulau Madura yang saat ini masih belum optimal karena terkendala akses dan infrastruktur yang kurang. Dari aspek transportasi, pembangunan ini akan membantu mengurangi kerusakan jalan raya dan mengurangi pemakaian energi yang besar.

Pada tulisan ini, penulis mencoba untuk mendesain geometrik jalan rel ruas Socah- Sampang. Pada tahun 2030, diperkirakan perpindahan orang dari Kabupaten Bangkalan ke Kabupaten Sampang antara 200.001-400.000 perjalanan. Serta, saat ini di Socah, sedang dibangun pelabuhan peti kemas internasional yang bernama Pelabuhan Madura International Seaport-City (MIS-C) (Kompas, 2011). Dengan pembangunan pelabuhan ini, tentunya akan meningkatkan kebutuhan transportasi baik barang maupun penumpang di Madura.

Oleh karena itu, dibutuhkan angkutan transportasi massal yang efektif baik untuk angkutan barang maupun penumpang yang mampu melayani dalam kapasitas besar. Dari segi efisiensinya, kereta api tergolong unggul dari moda transportasi lain, karena dari segi volume angkut dan konsumsi energi yang dibutuhkan kereta api lebih unggul dibandingkan bus dan mobil yang hanya mampu melayani angkutan transportasi dengan volume kecil. Sedangkan, Sampang dipilih karena Sampang tergolong sebagai daerah termiskin di Pulau Madura (Zamachsari, Sar, & Kun, 2014). Diharapkan dengan adanya jalan rel ini dapat meningkatkan perekonomian dan mobilisasi di daerah yang dilalui oleh jalan rel ini.

1.2. Perumusan Masalah

Hal-hal yang menjadi permasalahan dalam Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana trase jalan rel antara Socah – Sampang yang sesuai dengan kondisi topografi yang ada?
2. Bagaimana perencanaan konstruksi jalan rel yang sesuai dengan lebar sepur yang ada di Indonesia (1067 mm)?
3. Berapa rencana anggaran biaya yang diperlukan dalam perencanaan konstruksi jalan rel antara Socah - Sampang?

1.3. Tujuan

Tujuan dari Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Merencanakan bentuk trase jalan rel yang tepat untuk kondisi topografi yang ada.
2. Merencanakan konstruksi jalan rel sesuai dengan lebar sepur yang ada di Indonesia (1067 mm).
3. Mendapatkan rencana anggaran biaya yang diperlukan dalam perencanaan konstruksi jalan rel antara Socah - Sampang.

1.4. Batasan Masalah

Batasan masalah pada Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Data yang digunakan adalah data sekunder.
2. Data perencanaan dimulai dari Socah – Sampang.
3. Jalan rel yang direncanakan merupakan *double track*.
4. Tidak dilakukan pembahasan mengenai persinyalan maupun infrastruktur lain (stasiun, dipo, dan rumah sinyal).
5. Tidak dilakukan perhitungan kekuatan timbunan pada badan jalan kereta api.
6. Tidak dilakukan perhitungan untuk sistem drainase.

1.5. Manfaat

Pada akhirnya setelah menyelesaikan Tugas Akhir ini, diharapkan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis pribadi serta bagi pemerintah sehingga dapat membuat kereta api sebagai opsi utama transportasi massal untuk mengurangi beban kendaraan terhadap jalan, selain itu diharapkan dapat

meningkatkan perekonomian masyarakat di Pulau Madura khususnya.

1.6. Lokasi

Lokasi dari Tugas Akhir ini berada di Pulau Madura, Jawa Timur dari Socah sampai dengan Sampang. Lokasi rencana dapat dilihat pada **Gambar 1. 1** dan **Gambar 1. 2**.



Sumber: RIPNas 2011
Gambar 1.1 Pulau Madura



Sumber: RIPNas 2011
Gambar 1. 2 Peta Lokasi Studi

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi mengenai pembahasan dasar teori yang dijadikan sebagai acuan dalam melakukan perancangan geometrik dan struktur jalan rel dari Socah sampai Sampang di Madura, Jawa Timur.

Ketentuan yang digunakan dalam perencanaan ini berdasarkan RIPNas 2011 untuk tahun 2030. Lebar sepur yang digunakan adalah 1067 mm dengan kecepatan rencana sebesar 120 km/jam dengan jari-jari minimum 780 m dan menggunakan rel tipe R54.

2.1. Rencana Jaringan Jalur Kereta Api di Pulau Madura

Berdasarkan Rencana Induk Perkeretaapian Nasional, sasaran pengembangan jaringan jalur kereta api di Pulau Madura adalah pengoptimalan jaringan eksisting berupa peningkatan, rehabilitasi, dan reaktivasi lintas non-operasi guna meningkatkan aksesibilitas masyarakat yang ada di Pulau Madura.

Pada tahun 2030, secara bertahap prasarana perkeretaapian akan mulai dibangun. Pembangunan ini meliputi pengembangan terhadap jalur, stasiun, dan fasilitas operasi kereta api, yang meliputi:

1. Jaringan dan layanan kereta api antar kota termasuk pengaktifan kembali jalur kereta api antara Kamal – Sumenep.
2. Layanan kereta api perintis.
3. Sistem persinyalan, telekomunikasi, dan kelistrikan.
4. Stasiun kereta api termasuk fasilitas *park and ride* (Kementerian Perhubungan Ditjen Perkeretaapian, 2011).

2.2. Pemilihan Trase Jalan Rel

Dalam Keputusan Menteri No.52 Tahun 2000, pembangunan jalan rel dilaksanakan berdasarkan studi kelayakan yang memuat beberapa analisis sebagai berikut:

1. Kebutuhan pelayanan jasa angkutan kereta api
2. Kebutuhan prasarana dan sarana
3. Ketersediaan jasa angkutan moda lainnya
4. Kelestarian lingkungan
5. Finansial dan ekonomi.

2.3. Geometrik jalan Rel

Geometrik jalan rel direncanakan berdasarkan kecepatan rencana dan beban kereta yang melewatinya dengan mempertimbangkan faktor keamanan, kenyamanan, dan ekonomi.

2.2.1. Lengkung Horizontal

Alinyemen horizontal adalah proyeksi sumbu jalan rel pada bidang horizontal.

Tabel 2. 1 Jari-jari Minimum Lengkung Horizontal

Kecepatan Rencana (Km/jam)	Jari-jari minimum lengkung lingkaran tanpa lengkung peralihan (m)	Jari-jari minimum lengkung lingkaran yang diijinkan dengan lengkung peralihan (m)
120	2370	780
110	1990	660
100	1650	550
90	1330	440
80	1050	350
70	810	270
60	600	200

Sumber: Peraturan Menteri Perhubungan No. 60 Tahun 2012

a. Lengkung peralihan

Lengkung peralihan adalah lengkung yang jari-jarinya berubah secara beraturan. Panjang minimum dari lengkung peralihan ditetapkan dengan rumus berikut.

$$Lh = 0.01 \times h \times V \quad \text{Pers. 2. 1}$$

Dimana:

Lh = panjang minimum lengkung peralihan (m)

h = peninggian relatif antara dua baigan yang dihubungkan (m)

V = kecepatan rencana untuk lengkung peralihan (km/jam)

b. Sudut spiral

Sudut spiral adalah sudut yang dibentuk pada titik SC dan CS.

$$s = \frac{90Lh}{R} \quad \text{Pers. 2. 2}$$

Dimana:

Lh = panjang lengkung peralihan (m)

R = jari-jari lengkung horizontal (m)

c. Panjang busur lingkaran

Panjang busur lingkaran adalah panjang lengkung titik SC dan CS.

$$Lc = \frac{(\Delta - 2s) R}{180} \quad \text{Pers. 2. 3}$$

Dimana:

R = jari-jari lengkung horizontal (m)

s = sudut spiral yang dibentuk

Δ = sudut tikungan

d. Panjang proyeksi titik P

Titik P adalah panjang proyeksi antara garis bantu PI tegak lurus terhadap pusat lingkaran.

$$P = \frac{Lh^2}{6R} - R(1 - \cos s) \quad \text{Pers. 2. 4}$$

Dimana:

Lh = panjang lengkung peralihan (m)

R = jari-jari lengkung horizontal (m)

s = sudut spiral yang dibentuk

e. Panjang k

K adalah panjang proyeksi datar antara titik TS dengan SC.

$$k = Lh - \frac{Lh^3}{40R^2} - R \sin s \quad \text{Pers. 2. 5}$$

Dimana:

Lh = panjang lengkung peralihan (m)

R = jari-jari lengkung horizontal (m)

s = sudut spiral yang dibentuk

f. Panjang Ts

Panjang Ts adalah panjang dari titik TS ke titik PI.

$$Ts = (R + P)tg\left(\frac{1}{2}\Delta\right) + k \quad \text{Pers. 2. 6}$$

Dimana:

R = jari-jari lengkung horizontal (m)

P = panjang proyeksi garis bantu PI (m)

k = panjang antara titik TS dengan SC (m)

Δ = sudut tikungan

g. Panjang titik E

Panjang titik E adalah titik yang menghubungkan PI ke pusat lingkaran.

$$E = \frac{(R+P)}{\cos\left(\frac{1}{2}\Delta\right)} - R \quad \text{Pers. 2. 7}$$

Dimana:

R = jari-jari lengkung horizontal (m)

P = panjang proyeksi garis bantu PI (m)

Δ = sudut tikungan

h. Panjang Xs dan Ys

Merupakan koordinat peralihan dari circle ke spiral.

$$Ys = \frac{Lh^2}{6R} \quad \text{Pers. 2. 8}$$

$$Xs = \frac{hV}{144} \quad \text{Pers. 2. 9}$$

Dimana:

R = jari-jari lengkung horizontal (m)

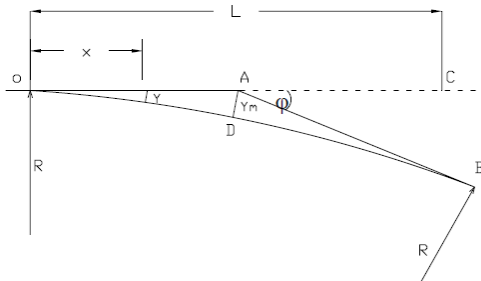
Lh = panjang peralihan (m)

h = peninggian rel (m)

V = kecepatan rencana (km/jam)

2.2.2. Lengkung Vertikal

Lengkung vertikal merupakan proyeksi sumbu jalan rel pada bidang vertikal yang melalui sumbu jalan rel tersebut. Perencanaan alinyemen vertikal berhubungan dengan besarnya volume galian dan timbunan. Oleh karena itu perencanaan lengkung vertikal ini akan berpengaruh pada biaya konstruksi.



Gambar 2. 1 Skema Lengkung Vertikal

Dimana:

R = jari-jari lengkung vertikal

L = panjang lengkung vertikal

A = titik pertemuan antara perpanjangan kedua landai/garis lurus

OA = 0,5 L

Perhitungan lengkung peralihan vertikal dapat menggunakan persamaan berikut.

$$Xm = \frac{R}{2} \quad \text{Pers. 2. 10}$$

$$Ym = \frac{R}{8} \quad \text{Pers. 2. 11}$$

Besar jari-jari minimum lengkung vertikal dipengaruhi oleh kecepatan rencana, dan besarnya dapat dilihat pada **Tabel 2. 1**.

Tabel 2. 2 Jari-jari Minimum Lengkung Vertikal

Kecepatan Rencana (km/jam)	Jari-jari Minimum (m)
Lebih besar dari 100	8000
Sampai 100	6000

Sumber: Peraturan Menteri Perhubungan No. 60 Tahun 2012

2.2.3. Kelandaian

Dalam kelandaian untuk jalan kereta api, terdapat beberapa syarat yang harus dipenuhi, yaitu persyaratan landai penentu, persyaratan landai curam, dan persyaratan landai emplasemen. Landai penentu adalah kelandaian terbesar yang terdapat pada lintasan lurus. Besarnya landai penentu untuk masing-masing kelas jalan rel, dapat dilihat pada **Tabel 2. 3**.

Tabel 2. 3 Landai Penentu

Kelas Jalan Rel	Landai Penentu Maksimum
1	10‰
2	10‰
3	20‰
4	25‰
5	25‰

Sumber: Peraturan Menteri Perhubungan No. 60 Tahun 2012

Kelandaian maksimum pada emplasemen adalah sebesar 1,5‰.

2.2.4. Pelebaran Sepur

Agar roda kereta api dapat melewati lengkung tanpa hambatan maka dilakukan pelebaran pada sepur. Besar pelebaran sepur bergantung pada besarnya jari-jari tikungan.

Tabel 2. 4 Pelebaran Sepur

Jari-jari tikungan (m)	Pelebaran (mm)
$R > 600$	0
$550 < R > 600$	5
$400 < R > 600$	10
$350 < R > 400$	15
$100 < R > 500$	20

Sumber: Peraturan Menteri Perhubungan No. 60 Tahun 2012

Pelebaran sepur maksimal yang diijinkan adalah sebesar 20 mm dan pelebaran sepur ini dilakukan secara bertahap di sepanjang lengkung peralihan.

2.2.5. Peninggian Rel

Pada lengkungan, elevasi rel pada bagian luar dibuat lebih tinggi sedangkan rel bagian dalam elevasinya tetap. Hal ini dilakukan untuk mengimbangi gaya sentrifugal yang terjadi pada rangkaian kereta api. Besar peninggian yang terjadi pada jalan rel dapat dicari dengan menggunakan rumus sebagai berikut.

$$h_{normal} = 5,95 \times \frac{(V_{rencana})^2}{jari-jari} \quad \text{Pers. 2. 12}$$

Besar peninggian jalan rel juga bisa didapatkan dengan menggunakan **Tabel 2. 5**.

Tabel 2. 5 Peninggian Jalan Rel 1067 mm

Jari-Jari (m)	Peninggian(mm) saat (km/hr)						
	120	110	100	90	80	70	60
100							
150							
200							110
250							90
300						100	75
350					110	85	65
400					100	75	55
450				110	85	65	50
500				100	80	60	45
550			110	90	70	55	40
600			100	85	65	50	40
650			95	75	60	50	35
700		105	85	70	55	45	35
750		100	80	65	55	40	30
800	110	90	75	65	50	40	30
850	105	85	70	60	45	35	30
900	100	80	70	55	45	35	25
950	95	80	65	55	45	35	25
1000	90	75	60	50	40	30	25
1100	80	70	55	45	35	30	20
1200	75	60	55	45	35	25	20

Jari-Jari (m)	Peninggian(mm) saat (km/hr)						
	120	110	100	90	80	70	60
1300	70	60	50	40	30	25	20
1400	65	55	45	35	30	25	20
1500	60	50	40	35	30	20	15
1600	55	45	40	35	25	20	15
1700	55	45	35	30	25	20	15
1800	50	40	35	30	25	20	15
1900	50	40	35	30	25	20	15
2000	45	40	30	25	20	15	15
2500	35	30	25	20	20	15	10
3000	30	25	20	20	15	10	10
3500	25	25	20	15	15	10	10
4000	25	20	15	15	10	10	10

Sumber: Peraturan Menteri Perhubungan No. 60 Tahun 2012

2.3. Struktur Jalan Rel

Daya angkut lintas, kecepatan maksimum, beban gandar, dan ketentuan lain untuk masing-masing kelas jalan, dapat dilihat pada **Tabel 2. 6**.

Tabel 2. 6 Kelas Jalan Rel

Kelas Jalan	Daya Angkut Lintas (Juta Ton)	V_{\max} (km/jam)	P_{\max} gandar(ton)	Tipe Rel	Jenis Bantalan/Jarak Bantalan (cm)	Jenis Penambat	Tebal Balas atas (cm)	Lebar Bahu Balas
I	> 20	120	18	R60/R54	Beton/60	EG	30	60
II	10 – 20	110	18	R54/R50	Beton/Kayu/60	EG	30	50
III	5 – 10	100	18	R54/R50/R42	Beton/Kayu/Baja/60 Beton/Kayu/Baja/60	EG	30	40
IV	2,5 – 5	90	18	R54/R50/R42	Kayu/Baja/60	EG/ET	25	40
V	< 2,5	80	18	R42		ET	25	35

Sumber: Peraturan Menteri Perhubungan No. 60 Tahun 2012

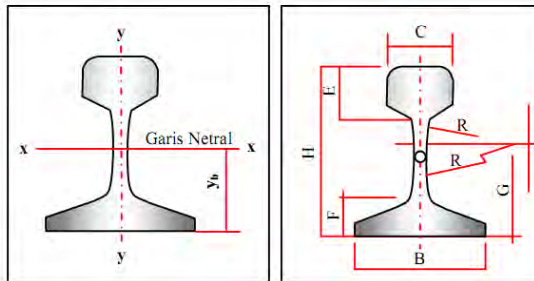
2.4. Profil Jalan Rel

Semua tipe rel mempunyai ukuran standar penampang rel yang harus memenuhi ketentuan dimensi rel seperti pada tabel dan gambar berikut.

Tabel 2. 7 Dimensi Penampang Rel

Besaran Geometri Rel	Tipe Rel			
	R 42	R 50	R 54	R 60
H (mm)	138.00	153.00	159.00	172.00
B (mm)	110.00	127.00	140.00	150.00
C (mm)	68.50	65.00	70.00	74.30
D (mm)	13.50	15.00	16.00	16.50
E (mm)	40.50	49.00	49.40	51.00
F (mm)	23.50	30.00	30.20	31.50
G (mm)	72.00	76.00	74.79	80.95
R (mm)	320.00	500.00	508.00	120.00
A (cm ²)	54.26	64.20	69.34	76.86
W (kg/m)	42.59	50.40	54.43	60.34
I _x (cm ⁴)	1369	1960	2346	3055
Y _b (mm)	68.50	71.60	76.20	80.95
A = Luas penampang				
W = Berat rel permeter				
I _x = Momen inersia terhadap sumbu x				
Y _b = jarak tepi bawah rel ke garis netral				

Sumber: Peraturan Menteri Perhubungan No. 60 Tahun 2012



Sumber: Peraturan Menteri Perhubungan No. 60 Tahun 2012
Gambar 2. 2 Penampang Rel

Rel dibedakan menjadi tiga jenis berdasarkan pada panjang rel tersebut, yaitu:

1. Rel standar
 Rel standar merupakan rel yang mempunyai panjang 25 m.
2. Rel pendek
 Rel pendek merupakan rel yang mempunyai panjang maksimum 100 m.
3. Rel panjang
 Rel panjang merupakan rel yang panjang minimalnya seperti yang tercantum pada **Tabel 2. 8** berikut.

Tabel 2. 8 Panjang Minimum Rel Panjang

Jenis Bantalan	Tipe Rel			
	R 42	R 50	R 54	R 0
Bantalan kayu	325	375	400	450
Bantalan beton	200	225	250	275

Sumber: Peraturan Menteri Perhubungan No. 60 Tahun 2012

2.5. Perencanaan Bantalan

Bantalan rel adalah landasan tempat rel bertumpu yang diikat dengan penambat rel. Fungsi dari bantalan yaitu sebagai pengikat rel, mendistribusikan beban ke ballas, stabilitas kedudukan rel pada ballas.

Bantalan dapat berupa kayu, baja, dan beton. Saat ini bantalan beton mulai banyak digunakan menggantikan bantalan kayu dan baja. Tetapi, bantalan kayu masih banyak digunakan pada konstruksi jembatan, karena bahannya yang ringan, sehingga dapat mengurangi beban jembatan itu sendiri.

Untuk lebar jalan rel 1067 mm yang menggunakan bantalan beton maka kuat tekan karakteristik beton yang digunakan tidak boleh kurang dari 500 kg/cm² dan memenuhi karakteristik sebagai berikut:

- Panjang : 2000 mm
 - Lebar maksimum : 260 mm
 - Tinggi maksimum : 220 mm
- Kemampuan momen yang diijinkan:
- Di bawah rel (positif) : 1500 kgm
 - Di bawah rel (negatif) : 750 kgm
 - Di tengah bantalan (positif) : 930 kgm
 - Di tengah bantalan (negatif) : 660 kgm

2.5.1. Jarak Bantalan

Penentuan jarak bantalan dapat dicari menggunakan metode Zimerman (1998) dalam Wahyudi. H (1993), dengan persamaan berikut:

$$L = \frac{M_{max}}{0.25 \cdot P} \times \frac{4k+10}{8k+7} \quad \text{Pers. 2. 13}$$

Dengan:

$$B = \frac{6EI}{a^3}$$

$$A = 2 \times \text{luas penampang} \times \text{lebar bantalan} \times 0.5 \text{ panjang bantalan}$$

$$D = 0.5 \times 0.95 \times A \times C$$

$$k = \frac{B}{D}$$

$$\frac{M_{max}}{W} \leq \text{ijin}$$

$$W = \frac{I_x}{y}$$

Dimana:

L = jarak antar bantalan

P = beban roda

= tegangan ijin rel (1843 kg/cm²)

B = koefisien lentur rel

D = koefisien bantalan

- $0.5 \times 0.9 \times A \times C$ (untuk lebar gauge 1435 mm)
- $0.5 \times 0.95 \times A \times C$ (untuk lebar gauge 1067 mm)
- $0.5 \times 1.0 \times A \times C$ (untuk lebar gauge 600 mm)

A = luas bidang pikul bantalan

C = koefisien balas

- Pasir = 3
- Kerikil = 5
- Batu kricak = 8

W = momen inersia terhadap sumbu x

I_x = momen inersia terhadap sumbu x

y = jarak tepi bawah rel ke garis netral

2.5.2. Tegangan Bantalan

Untuk menentukan analisa besarnya tegangan yang terjadi pada bantalan, persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut.

- Luas Penampang

$$A = (2 \times 0.5 \times \text{alas} \times \text{tinggi}) + (\text{panjang} \times \text{lebar})$$

Pers. 2. 14

- Inersia Penampang

$$I = \left(2 \times \frac{1}{36} \times b \times h^3\right) + \left(\frac{1}{12} b \times h^3\right) \quad \text{Pers. 2. 15}$$

Momen yang terjadi pada bantalan:

- Momen pada area bawah rel

$$M = \frac{Q}{4\lambda} \times \frac{1}{\sinh \lambda l + \sin \lambda l} \left[2 \cosh^2 \lambda a (\cos 2\lambda c + \cosh \lambda l) - 2 \cos^2 \lambda a (\cosh 2\lambda c + \cos \lambda l) \right. \\ \left. - \sinh 2\lambda a (\sin 2\lambda c + \sinh \lambda l) - \sin 2\lambda a (\sinh 2\lambda c + \sin \lambda l) \right]$$

Pers. 2. 16

- Momen pada area tengah bantalan

$$M = \frac{-Q}{2\lambda} \times \frac{1}{\sinh \lambda l + \sin \lambda l} \left[\sinh \lambda c (\sin \lambda c + \sin \lambda(l-c)) + \sin \lambda c (\sinh \lambda c + \sinh \lambda(l-c)) \right. \\ \left. + \cosh \lambda c \cos \lambda(l-c) - \cos \lambda c \cosh \lambda(l-c) \right]$$

Pers. 2. 17

Dengan:

$$Q = Pd \times 60\%$$

$$Pd = P + (0.01 \times P \times V - 5)$$

$$= \sqrt[4]{\frac{k}{4 \cdot E \cdot I}}$$

$$E = 6400 \text{ } f c'$$

Dimana:

P = beban statis roda

V = kecepatan rencana (mil/jam)

Pd = beban dinamis roda

% = presentase beban yang masuk ke dalam bantalan

= *dumping factor*

b = lebar bawah bantalan (cm)

ke = modulus reaksi balas (kg/cm^3)

a = jarak dari sumbu vertikal rel ke ujung bantalan

c = setengah jarak antara sumbu vertikal rel (cm)

E = kuat tekan beton

2.6. Penambat Rel

Penambat rel adalah pengikat rel pada bantalan agar kedudukan rel tetap stabil. Pada suatu konstruksi penambat rel yang sempurna diperlukan adanya:

- a. Kekuatan penjepitan (*vertical clamping forces*)
- b. Kekuatan puntiran (*torsion resistance*)
- c. Kemampuan menghadapi perambatan (*rail creep resistance*)

Penambat rel dibedakan menjadi dua jenis, yaitu:

1. Penambat elastis

Sistem penambat elastis adalah salah satu komponen utama yang ikut mempengaruhi kualitas struktur jalan rel, terbuat dari baja yang elastis sehingga dapat mengurangi getaran yang terjadi saat kereta lewat.

2. Penambat kaku

Penambat kaku terdiri dari paku rel, mur, tirpon yang dipasang menggunakan pelat landas.

2.7. Pemasangan Rel

Akibat perubahan suhu yang terjadi, rel mengalami perubahan panjang. Untuk mengatasi perubahan panjang pada rel maka pada sambungan diberikan celah.

2.7.1. Rel Standar dan Rel Pendek

Untuk menghitung lebar celah pada rel pendek digunakan persamaan berikut.

$$G = L \times \alpha \times (40 - t) + 2 \quad \text{Pers. 2. 18}$$

Dimana:

L = panjang rel

α = koefisien muai rel

t = suhu pada saat pemasangan rel

Untuk mengetahui besarnya celah pada rel pendek dapat menggunakan tabel berikut.

Tabel 2. 9 Besar Celah Untuk Semua Tipe Rel Pada Sambungan Rel Standar dan Rel Pendek

Suhu Pemasangan (°C)	Panjang Rel (m)			
	25	50	75	100
≤ 20	8	14	16	16
22	7	13	16	16
24	6	12	16	16
26	6	10	15	16

Suhu Pemasangan (°C)	Panjang Rel (m)			
	25	50	75	100
28	5	9	13	16
30	4	8	11	14
32	4	7	9	12
34	3	6	7	9
36	3	4	6	7
38	2	3	4	4
40	2	2	2	2
42	1	1	0	0
44	0	0	0	0
≥ 46	0	0	0	0

Sumber: Peraturan Dinas No.10 (PJKA, 1986)

Batas suhu pemasangan rel standar dan rel pendek adalah sebagai berikut.

Tabel 2. 10 Batas Suhu Pemasangan Rel Standar dan Rel Pendek

Panjang Rel (m)	Suhu (°C)	
	Min	Max
25	20	44
50	20	42
75	26	40
100	30	40

Sumber: Peraturan Dinas No.10 (PJKA, 1986)

2.7.2. Rel Panjang

Untuk menghitung lebar celah pada rel panjang dapat menggunakan persamaan berikut.

$$G = \frac{E \times A \times a \times (50 - t)^2}{2 \times r} + 2$$

Pers. 2. 19

Dimana:

E = modulus elastisitas rel (2.1×10^6 kg/cm²)

A = luas penampang rel

r = gaya lawan bantalan (450 kg/m)

Untuk mengetahui besarnya celah pada rel panjang yang digunakan pada bantalan beton dapat menggunakan tabel berikut.

Tabel 2. 11 Besar celah untuk sambungan rel panjang pada bantalan beton

Suhu Pemasangan (°C)	Jenis Rel			
	R 42	R 50	R 54	R 60
≤ 22	16	16	16	16
24	14	16	16	16
26	13	14	15	16
28	13	12	13	14
30	10	11	11	12
32	8	9	10	10
34	7	8	8	9
36	6	6	7	7
38	5	5	5	6
40	4	4	4	5
42	3	3	3	3
44	3	3	3	3
≥ 46	2	2	2	2

Sumber: Peraturan Dinas No.10 (PJKA, 1986)

Batas suhu pemasangan rel panjang pada bantalan beton adalah sebagai berikut.

Tabel 2. 12 Batas Suhu Pemasangan Rel Panjang pada Bantalan Beton

Rel	Suhu (°C)	
	Min	Max
R 42	28	46
R 50	30	48
R 54	30	48
R 60	32	48

Sumber: Peraturan Dinas No.10 (PJKA, 1986)

2.8. Balas - Subbalas

Balas adalah lapisan yang terletak di atas lapisan tanah dasar yang mengalami tegangan yang besar akibat lalu lintas kereta pada jalan rel.

Balas berfungsi sebagai:

- a. Penerus dan penyebar beban bantalan ke tanah dasar
- b. Pengokoh kedudukan bantalan
- c. Pelulus air sehingga tidak terjadi genangan di sekitar bantalan rel.

2.8.1. Persyaratan Balas

Balas yang digunakan mempunyai persyaratan sebagai berikut:

1. Material batuan harus keras, tidak mudah rapuh dan pecah bila terkena beban, serta tahan terhadap pengaruh cuaca.
2. Material batuan balas harus berbentuk tajam dan sama (homogen) dikaitkan dengan faktor pemadatan dan pemeliharaan.
3. Ukuran butiran batuan harus disesuaikan dengan bantalan-bantalan yang dipakai pada tikungan, perlintasan jalan, dan sebagainya.
4. Butiran batuan tidak porus dan tidak menyerap air.
5. Murah dalam arti tidak mempertimbangkan *initial cost* dan *maintenance cost*.
6. Tidak mempunyai atau menimbulkan reaksi kimia terhadap rel-rel atau material rel.

2.8.2. Lapisan Balas

Balas terdiri dari dua lapisan, yaitu

- a. Lapisan balas atas

Lapisan balas atas terdiri dari batu pecah yang keras dengan ukuran antara 2-6 cm. Lapisan ini sebagai porus dan dapat meneruskan air dengan baik.

Jarak dari sumbu jalan rel ke tepi atas lapisan balas atas adalah:

$$b > \frac{1}{2}L + x$$

Pers. 2. 20

Dimana:

L = panjang bantalan (cm)

x = 50 cm untuk kelas I dan II

= 40 cm untuk kelas III dan IV

= 35 cm untuk kelas V

Kemiringan maksimum lereng lapisan balas atas adalah sebesar 1:2 dan tinggi balas mempunyai elevasi yang sama dengan elevasi bantalan.

b. Lapisan balas bawah

Lapisan balas bawah terdiri dari kerikil halus, sedang, atau pasir kasar. Berfungsi sebagai *filter* antara tanah dasar dan balas atas dan dapat mengalirkan air dengan baik.

a. Ukuran terkecil dari tebal lapisan balas bawah adalah d2, yang dihitung dengan persamaan:

$$d2 = d - d1 > 15$$

Pers. 2. 21

Dengan:

$$d = \sqrt[1.35]{\frac{58 \cdot 1}{t}} - 10$$

Pers. 2. 22

1 dihitung dengan menggunakan rumus “*beam on elastic foundation*” yaitu:

$$\sigma_1 = \frac{Pd\lambda}{2b} \frac{1}{(\sin \lambda l + \sinh \lambda l)} \left| \begin{aligned} & (2 \cosh^2 \lambda a)(\cos 2\lambda c + \cosh \lambda l) + 2 \cos^2 \lambda a (\cosh 2\lambda c + \cos \lambda l) \\ & + \sin 2\lambda a (\sin 2\lambda c - \sinh \lambda) - \sin 2\lambda a (\sin 2\lambda c - \sin \lambda l) \end{aligned} \right|$$

Pers. 2. 23

Dengan:

$$Pd = [P + 0.01P(V - 5)]$$

Dimana:

Pd = beban roda akibat beban dinamis

P = beban statis roda

V = kecepatan rencana (mil/jam)

Pd = beban dinamis roda

% = presentase beban yang masuk ke dalam bantalan

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{k}{4EI}} \quad \text{Pers. 2. 24}$$

$$k = b \times ke \quad \text{Pers. 2. 25}$$

Dimana:

b = lebar bawah bantalan (cm)

ke = modulus reaksi balas (kg/cm^3)

EI = kekakuan lentur bantalan (kg/cm^2)

l = panjang bantalan (cm)

a = jarak dari sumbu vertikal rel ke ujung bantalan (cm)

c = setengah jarak antara sumbu vertikal rel (cm)

- b. Jarak dari sumbu jalan rel ke tepi atas lapisan balas bawah dihitung dengan persamaan-persamaan:

- Pada sepur lurus (lihat **Gambar 2. 3**)
 $k1 > b + 2d1 + m$ **Pers. 2. 26**

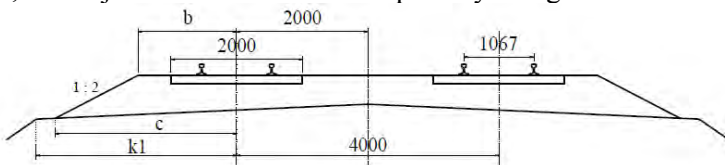
- Pada tikungan (lihat **Gambar 2. 4**)
 $k1d = k1$

$$k1l = b + 2dl + m + 2e \quad \text{Pers. 2. 27}$$

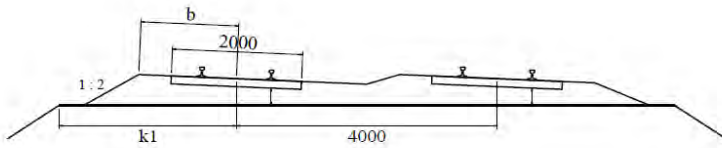
$$e = (b + 0.5) \times \frac{h}{l} + t \quad \text{Pers. 2. 28}$$

2.9. Struktur Badan Jalan Rel

Beban kereta api dipikul oleh badan jalan rel. Oleh karena itu, badan jalan harus stabil terhadap bahaya longsoran.



Sumber: Peraturan Menteri Perhubungan No. 60 Tahun 2012
Gambar 2. 3 Penampang Melintang Jalan Rel pada Bagian Lurus untuk Double Track



Sumber: Peraturan Menteri Perhubungan No. 60 Tahun 2012

Gambar 2. 4 Penampang Melintang Jalan Rel pada Lengkungan untuk *Double Track*

Tabel 2. 13 Tabel Penampang Melintang Jalan Rel

Kelas Jalan	Vmaks (km/jam)	d1 (cm)	b (cm)	C (cm)	k1 (cm)	d2 (cm)	e (cm)	k2 (cm)
I	120	30	150	235	265	15-50	25	375
II	110	30	150	235	265	15-50	25	375
III	100	30	140	225	240	15-50	22	325
IV	90	25	140	215	240	15-35	20	300
V	80	25	135	210	240	15-35	20	300

Sumber: Peraturan Menteri Perhubungan No. 60 Tahun 2012

2.10. Pengalokasian Ruang untuk Pengoperasian

Jalur kereta api memiliki ruang bebas dan ruang bangun yang berguna untuk kegiatan operasi kereta api itu sendiri. Ruang bebas merupakan ruang yang berada di atas jalan rel yang harus bebas dari segala penghalang yang disediakan untuk lalu lintas kereta api. Sedangkan ruang bangun merupakan ruang yang berada pada sisi jalan rel yang bebas dari segala bangunan yang diukur dari sumbu jalan rel pada tinggi 1 meter sampai 3,55 meter.

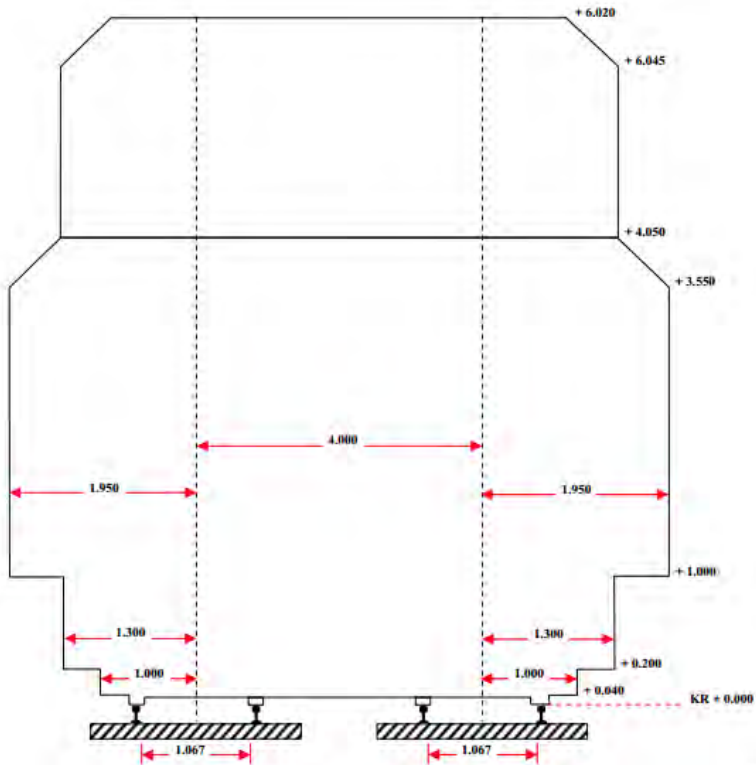
Jarak ruang bangun ditetapkan dapat dilihat pada **Tabel 2.**

14.

Tabel 2. 15 Jarak Ruang Bangun

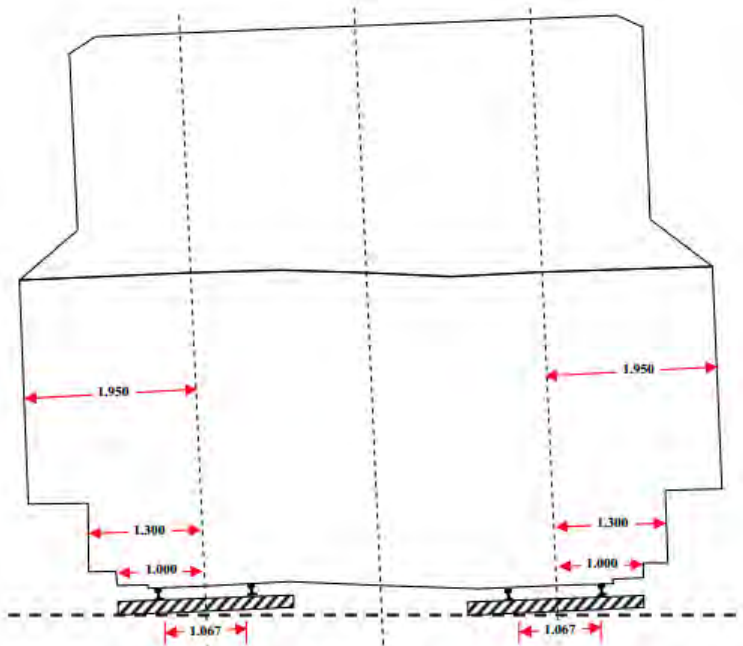
Segmen Jalur	Lebar Jalan Rel 1067 mm dan 1435 mm	
	Jalur Lurus	Jalur Lengkung $R < 800$
Lintas Bebas	Minimal 2.35 m di kiri kanan as jalan rel	$R \leq 300$ minimal 2.55m $R > 300$ minimal 2.45 di kiri kanan as jalan rel
Emplasemen	Minimal 1.95 m di kiri kanan as jalan rel	Minimal 2.35 m di kiri kanan as jalan rel
Jembatan, Terowongan	2.15 m di kiri kanan as jalan rel	2.15 m di kiri kanan as jalan rel

Sumber: Peraturan Menteri Perhubungan No. 60 Tahun 2012



Sumber: Peraturan Menteri Perhubungan No. 60 Tahun 2012

Gambar 2. 5 Ruang Bebas Lebar Rel 1067 mm pada Bagian Lurus



Sumber: Peraturan Menteri Perhubungan No. 60 Tahun 2012
Gambar 2. 6 Ruang Bebas Lebar Jalan Rel 1067 mm pada Lengkungan

2.11. Stasiun Kereta Api (Shelter/Tempat Henti)

Dalam Keputusan Menteri Perhubungan No.22 Tahun 2003, stasiun dapat berkedudukan sebagai:

1. Stasiun awal perjalanan kereta api
 Stasiun awal merupakan stasiun asal perjalanan kereta api dan juga berfungsi sebagai tempat untuk menyiapkan rangkaian kereta api dan memberangkatkan kereta api.
2. Stasiun antara perjalanan kereta api
 Stasiun antara merupakan stasiun tujuan terdekat dalam setiap perjalanan kereta api yang juga berfungsi untuk menerima kedatangan dan memberangkatkan kembali

kereta api atau dilewati oleh kereta api yang berjalan langsung.

3. Stasiun akhir perjalanan kereta api
Stasiun akhir merupakan stasiun tujuan akhir perjalanan kereta api yang menerima kedatangan kereta api.
4. Stasiun pemeriksaan perjalanan kereta api
Stasiun pemeriksaan merupakan stasiun awal perjalanan kereta api dan stasiun antara tertentu yang ditetapkan sebagai stasiun pemeriksa dalam Grafi Perjalanan Kereta Api (Gapeka). Di stasiun, pemeriksaan wajib melakukan kegiatan pencatatan mengenai persilangan luar biasa dengan kereta api fakultatif atau kereta api luar biasa.
5. Stasiun batas
Stasiun batas merupakan stasiun sebagai pembatas perjalanan kereta api dikarenakan adanya stasiun yang ditutup.

Berdasarkan Peraturan Menteri Perhubungan No. 29 Tahun 2011 tentang Persyaratan Teknis Bangunan Stasiun Kereta Api, terdapat pertimbangan dalam pembangunan stasiun kereta api, yaitu:

1. Persyaratan Penempatan
Pembangunan stasiun kereta api lokasinya harus memenuhi syarat sebagai berikut:
 - a. Sesuai dengan pola operasi perjalanan kereta api yang ada.
 - b. Dapat menunjang operasional system perkeretaapian.
 - c. Tidak mengganggu lingkungan.
 - d. Memiliki tingkat keselamatan dan keamanan sesuai dengan ketentuan yang berlaku.
2. Persyaratan Teknis
Pembangunan stasiun kereta api harus memenuhi syarat teknis, yaitu dapat menjamin konstruksi, material, desain, ukuran, dan kapasitas bangunan dengan standar kelayakan, keselamatan, dan keamanan serta kelancaran

sehingga bangunan stasiun berfungsi sesuai umur teknis bangunannya.

3. Persyaratan Operasi

Bangunan stasiun harus dapat menyokong kegiatan operasional yang ada, seperti:

- a. Sesuai dengan alur proses kedatangan dan keberangkatan penumpang kereta api serta tidak mengganggu pengaturan perjalanan kereta api.
- b. Berfungsi secara optimal dari segi tata letak ruang gedung stasiun, sehingga pengoperasian sarana perkeretaapian dapat dilakukan secara nyaman.
- c. Sesuai dengan jam operasional kereta api dan ketersediaan sumber daya manusia.

2.12. Layout Emplasemen

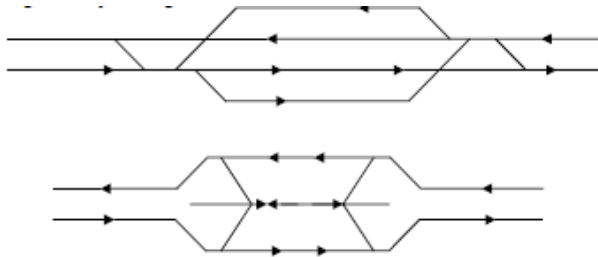
Emplasemen adalah bagian dari stasiun yang terdiri dari susunan jalan rel yang berfungsi untuk operasional kereta api itu sendiri. Perencanaan sepur pada emplasemen stasiun ini dilakukan dengan mempertimbangkan aspek ekonomi dan *demand* terhadap kereta api. Panjang efektif sepur *siding* minimum adalah sebesar 400 meter.

Letak jalan rel pada emplasemen di stasiun ditentukan dengan mempertimbangkan kondisi perjalanan kereta api. Pada sistem jalur ganda, pergerakan kereta api yang berlawanan tidak boleh saling mengganggu, kecuali untuk keadaan darurat.



Gambar 2. 7 Emplasemen stasiun jalur ganda

Tetapi, jika kondisi lahan untuk membangun jalan kereta api terbatas maka sepur yang ditambahkan pada emplasemen dapat digunakan untuk kereta api yang berlawanan arah.



Gambar 2. 8 Emplasemen stasiun jalur ganda dengan lahan terbatas

2.13. Wesel

Dalam kondisi tertentu, kereta diharuskan untuk berpindah jalur untuk suatu tujuan. Untuk melakukan perpindahan jalur ini, kereta membutuhkan wesel. Wesel sendiri merupakan pertemuan beberapa jalur (sepur), dapat berupa sepur yang bercabang atau persilangan antara dua sepur. Wesel terdiri dari beberapa komponen sebagai berikut:

1. Lidah

Lidah adalah bagian dari wesel yang dapat bergerak. Ada dua jenis lidah pada wesel, yaitu:

- a. Lidah berputar adalah lidah yang mempunyai engsel pada akarnya.
- b. Lidah berpegas adalah lidah yang akarnya dijepit dan bersifat lentur.

2. Jarum dan sayap

Jarum adalah bagian dari wesel yang memberi kemungkinan kepada flens roda melalui perpotongan bidang-bidang jalan yang terputus antara dua rel.

3. Rel lantak

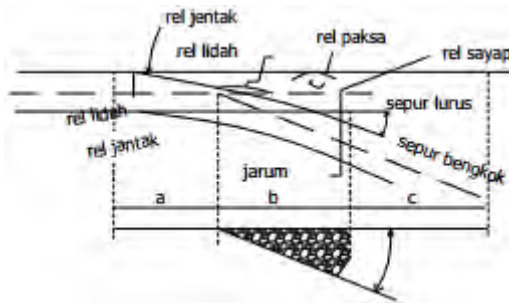
Rel lantak adalah rel yang diperkuat badannya dan berfungsi sebagai sandaran lidah-lidah wesel.

4. Rel paksa

Rel paksa terbuat dari rel biasa yang kedua ujungnya dibengkokkan ke dalam.

5. Sistem penggerak atau pembalik wesel

Pembalik wesel berfungsi untuk menggerakkan ujung lidah.



Sumber: Peraturan Dinas No.10 (PJKA, 1986)

Gambar 2. 9 Gambar wesel dan bagannya

Terdapat beberapa jenis wesel, yaitu:

1. Wesel biasa

Wesel biasa terdiri dari sepur lurus dan sepur belok.

a. Wesel biasa

- Wesel biasa kiri
- Wesel biasa kanan



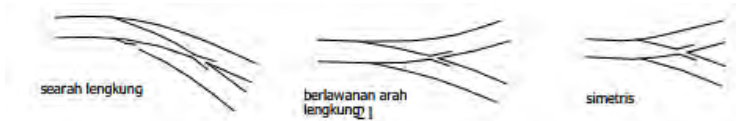
Wesel biasa kanan

Wesel biasa kiri

Sumber: Peraturan Dinas No.10 (PJKA, 1986)

Gambar 2. 10 Wesel Biasa

- b. Wesel dalam lengkung
 - Wesel searah lengkung
 - Wesel berlawanan arah lengkung
 - Wesel simetris



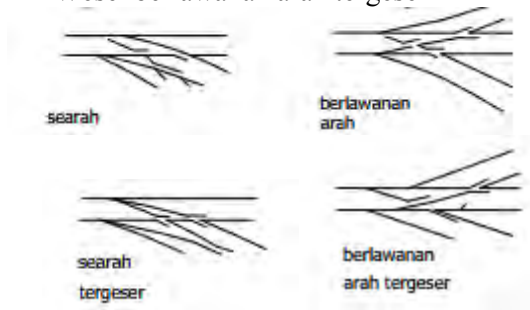
Sumber: Peraturan Dinas No.10 (PJKA, 1986)

Gambar 2. 11 Wesel Dalam Lengkung

2. Wesel tiga jalan

Wesel tiga jalan terdiri dari tiga sepur.

 - a. Wesel biasa
 - Wesel biasa searah
 - Wesel biasa berlawanan arah
 - b. Wesel dalam lengkung
 - Wesel searah tergeser
 - Wesel berlawanan arah tergeser



Sumber: Peraturan Dinas No.10 (PJKA, 1986)

Gambar 2. 12 Wesel Tiga Jalur

3. Wesel Inggris

Wesel inggris merupakan wesel yang dilengkapi dengan gerakan-gerakan lidah serta sepur-sepur bengkok.

 - a. Wesel inggris lengkap

b. Wesel Inggris tak lengkap



Sumber: Peraturan Dinas No.10 (PJKA, 1986)

Gambar 2. 13 Wesel Inggris

2.14. Terowongan dan Jembatan

Perencanaan terowongan dan jembatan dilakukan berdasarkan Peraturan Menteri Perhubungan No.60 Tahun 2012.

2.14.1. Terowongan

Terowongan untuk kepentingan jalur kereta api, terdiri dari tiga jenis:

- a. Terowongan pegunungan (*mountain tunnel*)
Terowongan pegunungan merupakan terowongan yang dibangun menembus daerah pegunungan.
- b. Terowongan perisai (*shield tunnel*)
Terowongan perisai merupakan terowongan yang dibangun dengan menggunakan mesin perisai (*shield machine*).
- c. Terowongan gali timbun (*cut and cover tunnel*)
Terowongan gali timbun merupakan terowongan yang dibangun dengan metode penggalian dari permukaan tanah hingga kedalaman tertentu dengan menggunakan sistem penahan tanah (*earth retaining*) dan ditimbun kembali setelah konstruksi terowongan selesai dibangun.

2.14.2. Jembatan

Berdasarkan material untuk struktur jembatan, jembatan dibagi menjadi:

- a. Jembatan baja
- b. Jembatan beton
- c. Jembatan komposit

2.15. Perhitungan Rencana Anggaran Biaya

Sebelum melakukan perhitungan biaya pekerjaan, terlebih dahulu dilakukan perhitungan volume dari pekerjaan yang direncanakan. Perhitungan volume yang dilakukan meliputi:

1. Volume Pekerjaan
 - a. Pengadaan bahan
 - Balas batu pecah
 - Pengadaan subbalas
 - Bantalan beton lengkap dengan penambat elastis
 - b. Pekerjaan persiapan
 - Pembebasan lahan
 - Pembersihan lahan
 - Pembuatan direksi keet
 - Pembuatan alat semboyan
 - Pengukuran dan pemasangan patok
 - c. Konstruksi jalan rel
 - d. Pekerjaan balas dan rel
 - Mengerjakan balas baru
 - Menyetel spoor dengan bantalan beton R 54
 - Ongkos angkut rel R 54
 - Mengelas rel R 54 dengan las thermit
 - Angkat/listring dengan MTT
 - Galian dan timbunan
 - Pembuatan saluran pembuangan di kanan/kiri jalan KA

2. Analisa Harga Satuan

Harga satuan pokok pekerjaan merupakan harga satuan untuk setiap jenis pekerjaan konstruksi yang terdiri dari beberapa komponen dengan nilai koefisien yang didasarkan pada perhitungan Standar Nasional Indonesia (SNI).

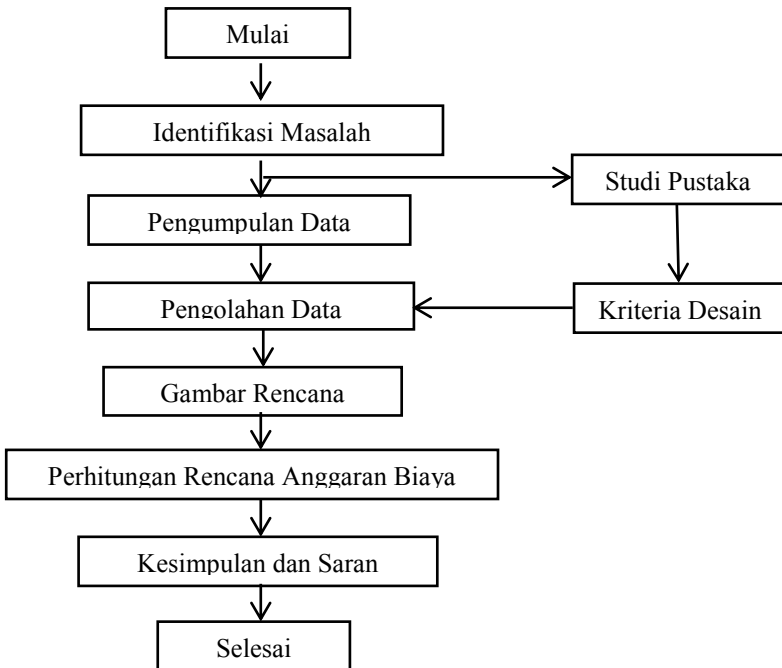
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III METODOLOGI

Bab ini membahas tentang metodologi yang digunakan dalam perencanaan jalan rel.

3.1. Diagram Alir

Diagram alir ini merupakan tata urutan perencanaan dari awal proses sampai akhir. Diagram alir yang digunakan pada proposal tugas akhir ini dapat dilihat di **Gambar 3. 1**.



Gambar 3. 1 Diagram Alir Perencanaan Jalan Rel

3.1.1. Identifikasi Masalah

Pada tahap ini dilakukan perumusan masalah yang ada pada kondisi saat ini dan perencanaan seperti, perencanaan trase jalan rel Socah – Sampang yang sesuai dengan kondisi topografi, konstruksi jalan rel, dan biaya yang dibutuhkan dalam perencanaan jalan rel ini.

3.1.2. Studi Pustaka

Studi Pustaka dilakukan untuk menambah informasi mengenai kereta api yang dapat menunjang penyelesaian Tugas Akhir ini. Dari studi pustaka ini didapatkan kriteria desain yang nantinya akan digunakan dalam pengolahan data.

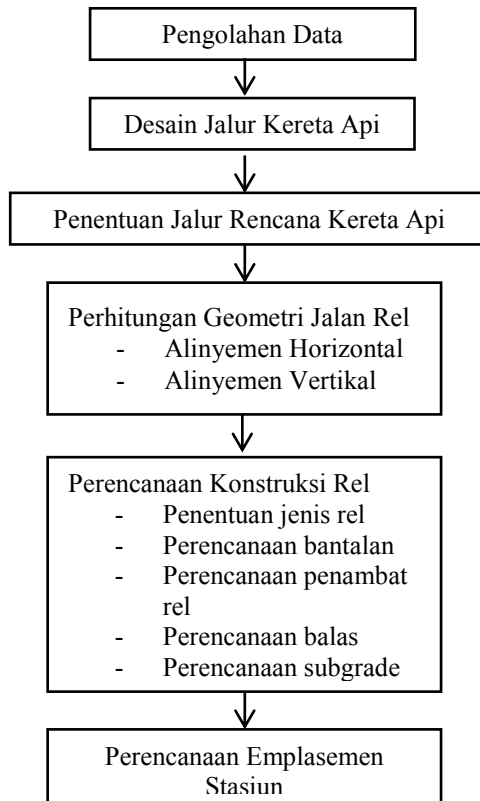
3.1.3. Pengumpulan Data

Melakukan pengumpulan data-data yang diperlukan untuk penyusunan Tugas Akhir. Data-data yang dibutuhkan meliputi:

- a. Peta topografi, digunakan untuk mengetahui tata guna lahan dan kontur lapangan yang ditinjau.
- b. Data lokomotif, yang digunakan untuk perhitungan konstruksi jalan rel.
- c. Brosur WKA mengenai bantalan, untuk mengetahui jenis bantalan yang digunakan serta kekuatan materialnya.

3.1.4. Pengolahan Data

Setelah data dikumpulkan dilakukan pengolahan data. Pengolahan data yang dilakukan meliputi pemilihan trase, perhitungan geometrik jalan rel dan perencanaan konstruksi jalan rel.



Gambar 3. 2 Proses Pengolahan Data

3.1.4.1. Desain Jalur Kereta Api

Pada tahap ini, dilakukan perencanaan beberapa bentuk alternatif rute untuk jalan rel. Kemudian, dilakukan pemilihan trase dengan memberikan skor pada masing-masing kriteria. Alternatif trase dengan skor tertinggi akan dipilih menjadi trase rencana.

3.1.4.2. Perencanaan Geometrik

Pada tahap ini dilakukan perencanaan berkaitan geometrik jalan rel berupa perencanaan:

- Alinyemen Horizontal
- Alinyemen Vertikal

3.1.4.3. Perencanaan Konstruksi Jalan Rel

Perencanaan konstruksi jalan rel ini didasarkan pada Peraturan Menteri Perhubungan No.60 Tahun 2012. Perencanaan konstruksi yang dilakukan meliputi:

- Penentuan jenis rel
- Perencanaan bantalan
- Perencanaan penambat rel
- Perencanaan balas
- Perencanaan subgrade

3.1.4.1. Perencanaan Emplasemen

Perencanaan emplasemen ini membahas mengenai pemilihan wesel dan penentuan jumlah sepur pada emplasemen.

3.1.5. Gambar Rencana

Setelah semua perhitungan selesai dilakukan dan sesuai dengan perencanaan, perencanaan geometri digambar dengan *software* yang ada. Hasil dari gambar rencana ini berupa gambar *plan profil*, *cross section*, dan gambar potongan pada emplasemen stasiun.

3.1.6. Perhitungan Rencana Anggaran Biaya

Perhitungan rencana anggaran biaya dilakukan untuk mendapatkan total biaya yang dibutuhkan dalam pembangunan jalan rel rute Socah – Sampang.

3.2. Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan merupakan hasil dari analisa dan pengolahan data yang menjawab rumusan masalah yang dibahas.

BAB IV

ANALISA DAN PENENTUAN TRASE

4.1. Penentuan Trase Jalan Rel

Dalam penentuan trase, ada beberapa alternatif yang nantinya akan dipilih satu trase jalan dari beberapa alternatif yang tersedia.

4.2.1. Alternatif Trase Jalan Rel I

Panjang rel rencana pada alternatif I ini adalah sekitar 67,4 km dan melewati 11 sungai kecil dan besar.

4.2.2. Alternatif Trase Jalan Rel II

Trase ini mempunyai panjang rel rencana sekitar 66,1 km dan melewati 15 sungai kecil dan besar.

4.2.3. Alternatif Trase Jalan Rel III

Trase ini mempunyai panjang rel rencana sekitar 65,6 km dan melewati 16 sungai kecil dan besar.

4.2.4. Alternatif Trase Jalan Rel IV

Trase ini mempunyai panjang rel rencana sekitar 67,6 km dan melewati 21 sungai besar dan kecil.

Gambar alternatif trase dapat dilihat pada **Gambar 4.1 – Gambar 4.4.**

4.2. Perencanaan Trase *Double Track*

Pemilihan trase rencana dilakukan dengan memberikan skor pada masing-masing kriteria. Kemudian, alternatif dengan skor tertinggi akan dijadikan sebagai trase rencana.

Skor diberikan dengan nilai 1 hingga 4, dengan nilai 1 sebagai skor terkecil dan nilai 4 sebagai skor terbesar.

Adapun kriteria yang dijadikan pertimbangan dalam pemilihan trase ini adalah:

1. Panjang jalur kereta api
Panjang jalur kereta api akan mempengaruhi biaya konstruksi dari pembangunan jalur itu sendiri. Oleh karena itu, semakin pendek jalur kereta api maka akan semakin baik.
2. Pembebasan lahan
Pembebasan lahan dilakukan apabila jalur kereta api melalui daerah pemukiman atau lahan pertanian dan perkebunan.
3. Sungai
Menghindari daerah yang banyak memiliki sugai untuk meminimalisir biaya pembangunan jembatan.
4. Lokasi komersial
Dalam perencanaan ini nantinya akan dibangun beberapa stasiun untuk membantu operasional kereta api dan juga stasiun penumpang yang dapat digunakan oleh masyarakat.

Proses pemilihan trase dilakukan sebagai berikut.

- a. Analisa Pemilihan Trase
Pemberian skor pada masing-masing kriteria dapat dilihat pada **Tabel 4. 1**.

Tabel 4. 1 Analisa Pemilihan Trase

Kriteria	Alternatif Trase			
	I	II	III	IV
Panjang jalur kereta api	2	3	4	1
Pembebasan Lahan	3	1	2	4
Sungai	4	3	2	1
Lokasi komersial	3	4	1	2
Jumlah	12	11	9	8

Pada kriteria pembebasan lahan, alternatif trase II merupakan alternatif yang membutuhkan pembebasan lahan terbanyak karena trase jalan relnya berada di sepanjang jalan raya utama yang sebagian besar digunakan oleh masyarakat sebagai lokasi perdagangan dan tempat tinggal. Sedangkan, alternatif trase IV diberikan skor tertinggi karena pada trase ini, jalur rel direncanakan lokasinya jauh dari pemukiman dan perkebunan.

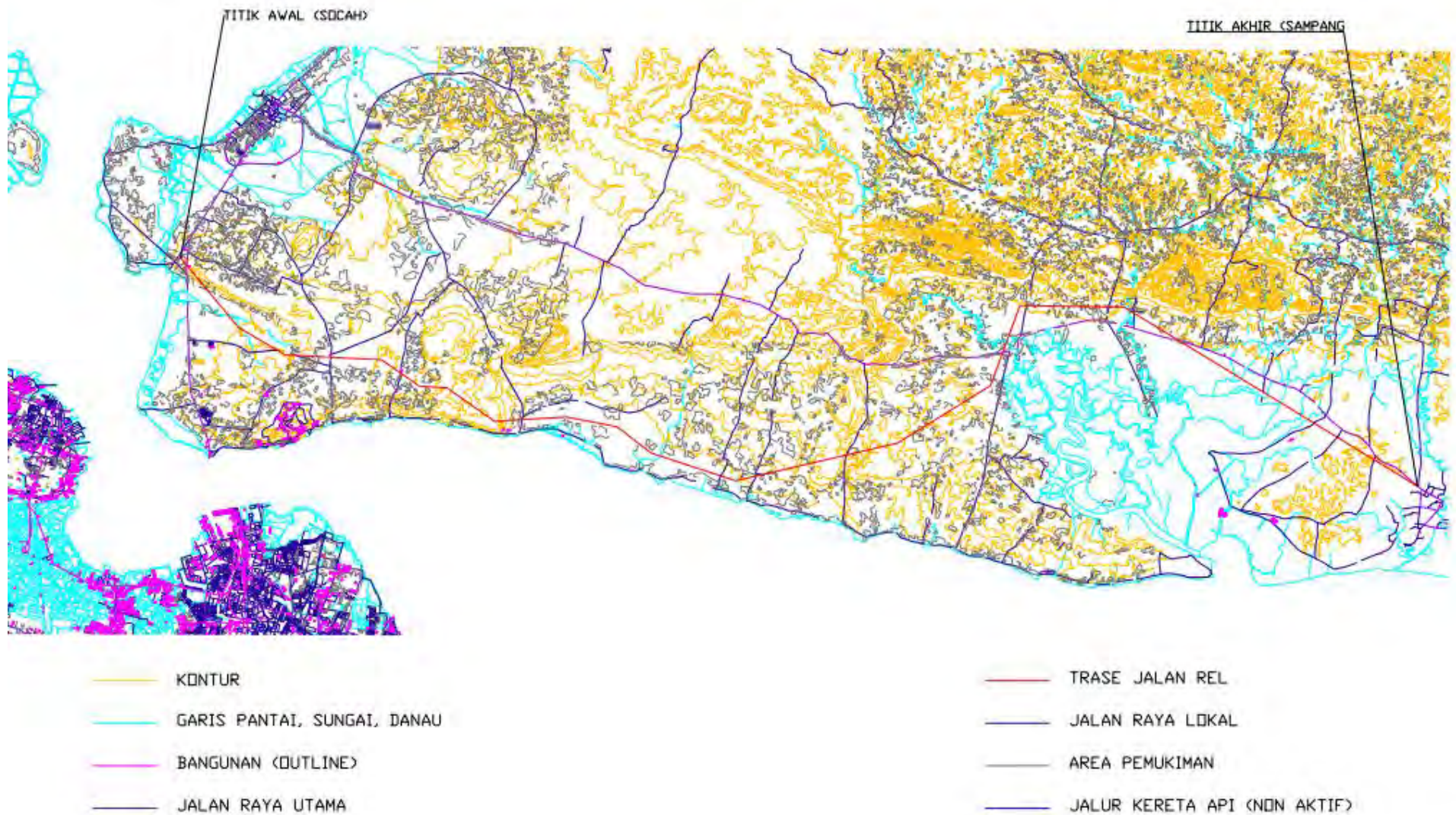
Pada kriteria lokasi komersial, alternatif trase II mendapatkan skor tertinggi karena lokasinya yang strategis yaitu dekat dengan jalan raya utama dan pemukiman penduduk sehingga memiliki *demand* yang tinggi. Hal ini berbeda dengan alternatif trase III yang berlokasi lebih jauh dari pemukiman penduduk.

Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada **Gambar 4. 1 – Gambar 4. 4.**

b. Kesimpulan

Dari hasil analisa didapatkan alternatif I dengan bobot tertinggi. Jadi alternatif I digunakan sebagai alternatif trase yang dipilih.

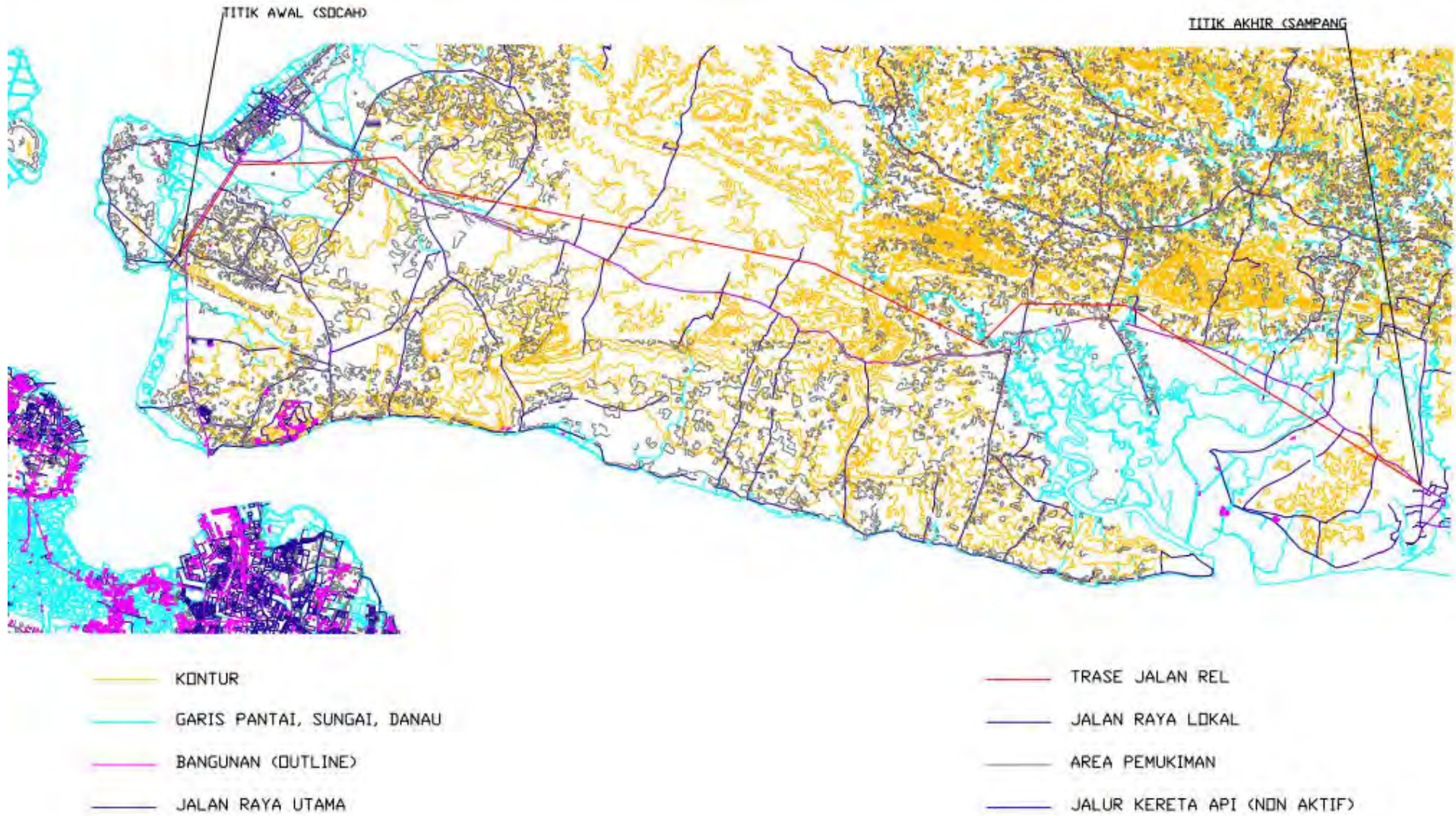
“Halaman ini sengaja dikosongkan”



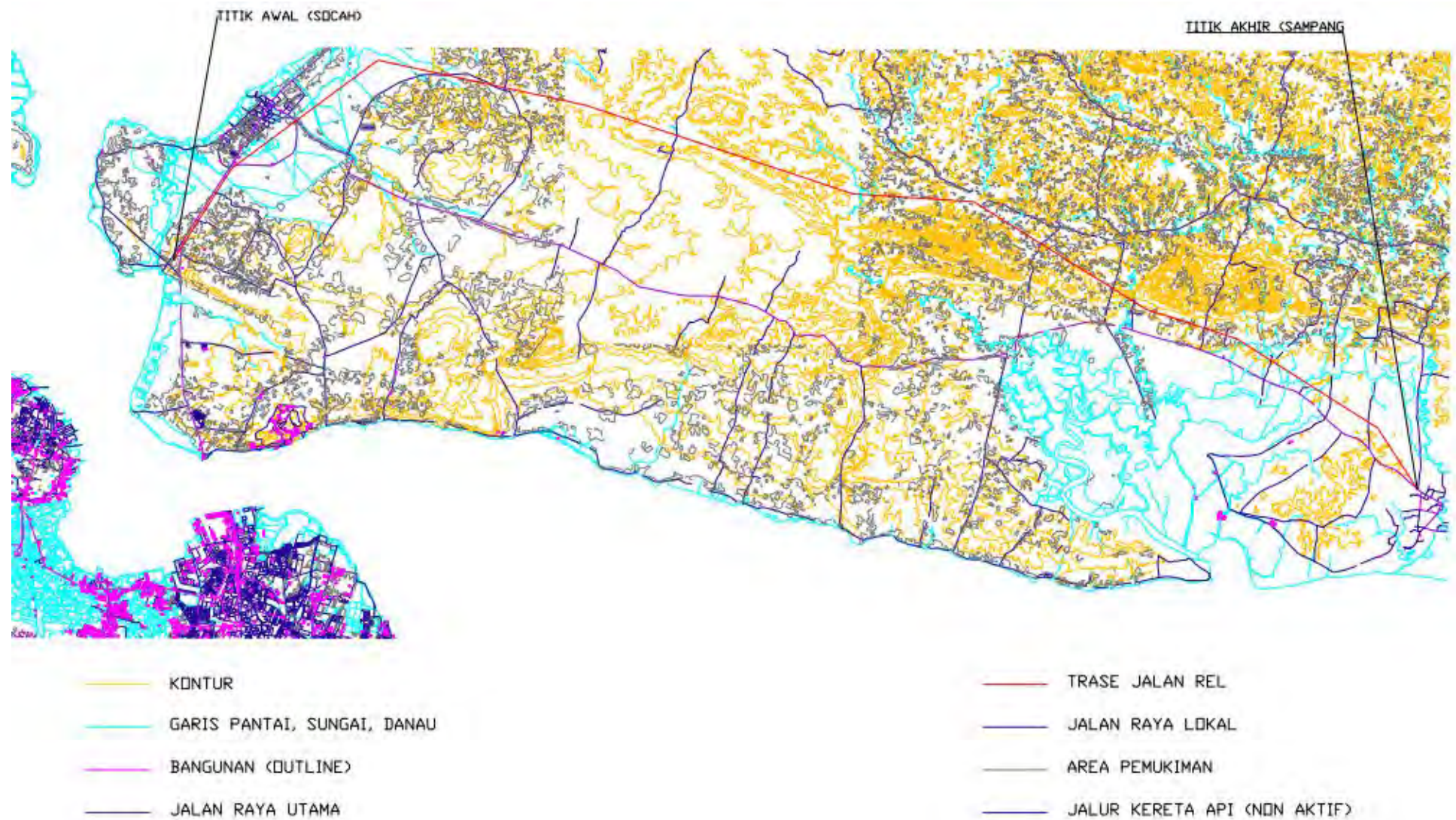
Gambar 4. 1 Rencana Trase 1



Gambar 4. 2 Rencana Trase 2



Gambar 4. 3 Rencana Trase 3



Gambar 4. 4 Rencana Trase 4

BAB V

KONSTRUKSI JALAN REL

Dalam Bab V ini, akan dibahas mengenai perhitungan terkait konstruksi jalan rel yang meliputi perencanaan lengkung hingga perencanaan emplasemen stasiun.

5.1. Perencanaan Geometri Jalan Rel

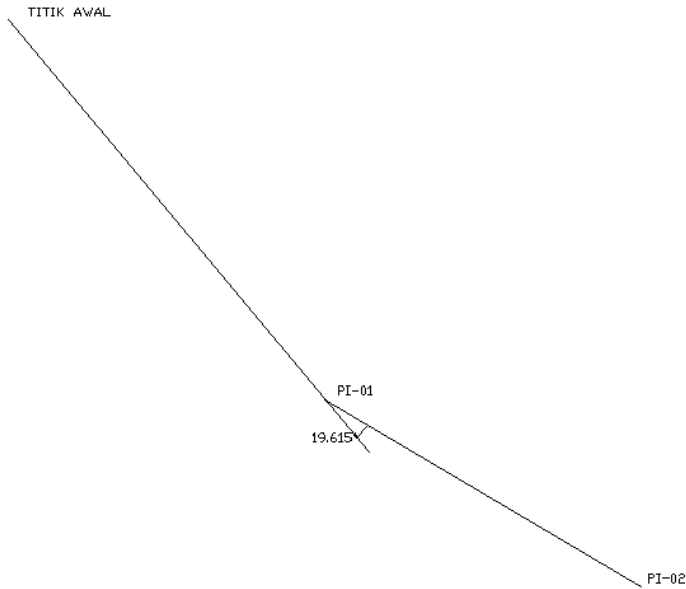
5.1.1. Koreksi Sudut PI

Berikut adalah tahapan perhitungan dalam menentukan koreksi sudut PI.

Contoh perhitungan koordinat PI-01:

Tabel 5. 1 Koordinat x,y

PI	Koord. X	Koord. Y
Awal	688819.3751	9215950.4178
PI-1	691539.1988	9212685.4097
PI-2	693738.9200	9211385.0000



Gambar 5. 1 Skema Titik Koordinat PI

- Titik Awal ke PI-01

$$\begin{aligned}\tan \alpha_1 &= \frac{x_1 - x_0}{y_1 - y_0} \\ &= \frac{691539.1988 - 688819.3751}{9212685.4097 - 9215950.4178} \\ \alpha_1 &= -39.795^\circ\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Azimuth} &= 360 + \alpha_1 \\ &= 140.205^\circ\end{aligned}$$

- PI-01 ke PI-02

$$\begin{aligned}\tan \alpha_2 &= \frac{x_2 - x_1}{y_2 - y_1} \\ &= \frac{693738.9200 - 691539.1988}{9211385.0000 - 9212685} \\ \alpha_2 &= -59.410^\circ\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Azimuth} &= 360 + \alpha_2 \\ &= 120.590^\circ\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\therefore \Delta^\circ &= 120.590 - 140.205 \\ &= -19.615^\circ\end{aligned}$$

- Panjang (L) Titik Awal ke PI-01

$$\begin{aligned}L &= \sqrt{(x_1 - x_0)^2 + (y_1 - y_0)^2} \\ &= \sqrt{(2719.824)^2 + (-3265.088)^2} \\ &= 4249.437 \text{ m}\end{aligned}$$

- Panjang (L) PI-01 ke PI-02

$$\begin{aligned}L &= \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \\ &= \sqrt{(2199.721)^2 + (-1300.410)^2} \\ &= 2555.355 \text{ m}\end{aligned}$$

Untuk hasil perhitungan yang lain, dapat dilihat pada **Tabel 5.2.**

Tabel 5. 2 Perhitungan Koreksi Sudut PI

PI	Koord. X	Koord. Y	ΔX	ΔY	$\Delta X/\Delta Y$	$\tan (\Delta X/\Delta Y)$	$\beta(\text{Azimuth})$	Δ	L (m)
Awal	688819.3751	9215950.4178	2719.824	-3265.008	-0.833	-39.795	140.205		4249.437
PI-1	691539.1988	9212685.4097	2199.721	-1300.410	-1.692	-59.410	120.590	-19.615	2555.355
PI-2	693738.9200	9211385.0000	4548.080	-232.000	-19.604	-87.080	92.920	-27.670	4553.993
PI-3	698287.0000	9211153.0000	1759.000	-1236.000	-1.423	-54.905	125.095	32.174	2149.832
PI-4	700046.0000	9209917.0000	1313.000	-84.000	-15.631	-86.339	93.661	-31.434	1315.684
PI-5	701359.0000	9209833.0000	2227.916	-1568.028	-1.421	-54.862	125.138	31.478	2724.394
PI-6	703586.9163	9208264.9719	3403.733	199.537	17.058	86.645	86.645	-38.493	3409.577
PI-7	706990.6493	9208464.5087	2373.100	-461.115	-5.146	-79.004	100.996	14.351	2417.484
PI-8	709363.7489	9208003.3933	1602.832	-1232.531	-1.300	-52.441	127.559	26.563	2021.931
PI-9	710966.5811	9206770.8625	3987.825	-1303.981	-3.058	-71.893	108.107	-19.452	4195.607
PI-10	714954.4062	9205466.8812	7608.021	1766.717	4.306	76.927	76.927	-31.181	7810.459
PI-11	722562.4271	9207233.5979	4381.573	2707.402	1.618	58.288	58.288	-18.639	5150.554
PI-12	726944.0000	9209941.0000	1387.593	3768.354	0.368	20.215	20.215	-38.073	4015.708
PI-13	728331.5930	9213709.3545	4917.637	-86.805	-56.651	-88.989	91.011	70.796	4918.403

PI	Koord. X	Koord. Y	ΔX	ΔY	$\Delta X/\Delta Y$	$\tan (\Delta X/\Delta Y)$	$\beta(\text{Azimuth})$	Δ	L (m)
PI-14	733249.2304	9213622.5490	13789.758	-8413.345	-1.639	-58.612	121.388	30.377	16153.693
Akhir	747038.9880	9205209.2039							

Sumber: Analisa Data dan Perhitungan

5.1.2. Perencanaan Lengkung Horizontal

Dalam Tugas Akhir ini, kecepatan yang direncanakan yaitu 120 km/jam dan jari-jari rencana 780 m.

Berikut ini adalah tahapan pengerjaan dalam perhitungan lengkung horizontal menggunakan perhitungan *spiral-circle-spiral* (SCS).

Contoh perhitungan PI-01:

- Peninggian Sisi Luar Rel

$$\begin{aligned} h &= \frac{5.95 V^2}{R} \\ &= \frac{5.95(120)^2}{780} \\ &= 109.846 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Panjang Minimum Lengkung Peralihan

$$\begin{aligned} L_h &= 0.01 \times h \times V \\ &= 0.01 \times 109.846 \times 120 \\ &= 131.815 \text{ m} \end{aligned}$$

- Sudut Spiral

$$\begin{aligned} s &= \frac{90 L_h}{R} \\ &= \frac{90 \cdot 131.815}{780} \\ &= 4.841 \end{aligned}$$

- Panjang Busur Lingkaran

$$\begin{aligned} L_c &= \frac{(\Delta - 2 s) R}{180} \\ &= \frac{(19.615 - 2 \cdot 4.841) \cdot 780}{180} \\ &= 135.210 \text{ m} \end{aligned}$$

- Panjang Proyeksi Titik P

$$\begin{aligned}
 P &= \frac{Lh^2}{6R} - R(1 - \cos s) \\
 &= \frac{131.815^2}{6 \cdot 780} - 780(1 - \cos 4.841) \\
 &= 0.930 \text{ m}
 \end{aligned}$$

- Panjang k

$$\begin{aligned}
 k &= Lh - \frac{Lh^3}{40R^2} - R \sin s \\
 &= 131.815 - \frac{131.815^3}{40 \cdot 780^2} - 780 \cdot \sin 4.841 \\
 &= 65.892 \text{ m}
 \end{aligned}$$

- Panjang Ts

$$\begin{aligned}
 Ts &= (R + P) \operatorname{tg} \left(\frac{1}{2} \Delta \right) + k \\
 &= (780 + 0.930) \operatorname{tg} \left(\frac{1}{2} \cdot 19.615 \right) + 65.892 \\
 &= 200.885 \text{ m}
 \end{aligned}$$

- Panjang Titik E

$$\begin{aligned}
 E &= \frac{(R + P)}{\cos \left(\frac{1}{2} \Delta \right)} - R \\
 &= \frac{(780 + 0.930)}{\cos \left(\frac{1}{2} \cdot 19.615 \right)} - 780 \\
 &= 12.5115 \text{ m}
 \end{aligned}$$

- Panjang Xs dan Ys

$$\begin{aligned}
 Ys &= \frac{Lh^2}{6R} \\
 &= \frac{131.815^2}{6 \cdot 780} \\
 &= \mathbf{3.713 \text{ m}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 X_s &= \frac{hV}{144} \\
 &= \frac{109.846 \cdot 120}{144} \\
 &= 91.538 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Untuk hasil perhitungan lengkung horizontal lainnya dapat dilihat pada **Tabel 5. 3** dan **Tabel 5. 4**.

Tabel 5. 3 Parameter Lengkung Horizontal

PI	Δ	R renc (m)	V (km/jam)	h (mm)	Lh (m)	s	Lc (m)	p	k	Ts	Es	Xs	Ys
PI-1	19.615	780	120	109.846	131.815	4.841	135.210	0.930	65.892	200.885	12.5115	91.538	3.713
PI-2	27.670	780	120	109.846	131.815	4.841	244.874	0.930	65.892	258.214	24.2631	91.538	3.713
PI-3	32.174	780	120	109.846	131.815	4.841	306.194	0.930	65.892	291.107	32.7567	91.538	3.713
PI-4	31.434	780	120	109.846	131.815	4.841	296.115	0.930	65.892	285.652	31.2619	91.538	3.713
PI-5	31.478	780	120	109.846	131.815	4.841	296.708	0.930	65.892	285.973	31.3489	91.538	3.713
PI-6	38.493	780	120	109.846	131.815	4.841	392.215	0.930	65.892	338.553	47.1611	91.538	3.713
PI-7	14.351	780	120	109.846	131.815	4.841	63.554	0.930	65.892	164.208	7.0943	91.538	3.713
PI-8	26.563	780	120	109.846	131.815	4.841	229.804	0.930	65.892	250.231	22.3915	91.538	3.713
PI-9	19.452	780	120	109.846	131.815	4.841	132.995	0.930	65.892	199.743	12.3178	91.538	3.713
PI-10	31.181	780	120	109.846	131.815	4.841	292.664	0.930	65.892	283.789	30.7593	91.538	3.713
PI-11	18.639	780	120	109.846	131.815	4.841	121.925	0.930	65.892	194.046	11.3752	91.538	3.713
PI-12	38.073	780	120	109.846	131.815	4.841	386.494	0.930	65.892	335.344	46.1088	91.538	3.713
PI-13	70.796	780	120	109.846	131.815	4.841	831.977	0.930	65.892	620.833	178.0247	91.538	3.713
PI-14	30.377	780	120	109.846	131.815	4.841	281.720	0.930	65.892	277.896	29.1953	91.538	3.713

Sumber: Analisa Data dan Perhitungan

Tabel 5. 4 Stasioning Lengkung Horizontal

PI	STA TS	STA SC	STA CS	STA ST
PI-1	4048.553	4180.368	4315.578	4447.393
PI-2	6543.650	6675.465	6920.339	7052.155
PI-3	11056.827	11188.642	11494.836	11626.652
PI-4	13199.724	13331.539	13627.654	13759.470
PI-5	14503.529	14635.344	14932.053	15063.868
PI-6	17163.736	17295.551	17687.766	17819.582
PI-7	20726.397	20858.213	20921.767	21053.582
PI-8	23056.628	23188.443	23418.247	23550.062
PI-9	25122.019	25253.834	25386.830	25518.645
PI-10	29230.719	29362.535	29655.199	29787.014
PI-11	37119.638	37251.454	37373.379	37505.194
PI-12	42126.359	42258.174	42644.668	42776.483
PI-13	45836.014	45967.829	46799.806	46931.621
PI-14	50951.296	51083.111	51364.831	51496.647

Sumber: Analisa Data dan Perhitungan

5.1.3. Perencanaan Lengkung Vertikal

1. Perhitungan Elevasi Ketinggian

Sebelum menentukan elevasi ketinggian, terlebih dahulu dibuat stasioning setiap 50 – 100 m. dari setiap stasioning, dilakukan pengukuran elevasi dengan menggunakan kontur yang ada.

Contoh perhitungan pada titik 00+000:

Diketahui:

Kontur atas = +25.0 m

Kontur bawah = +12.5 m

Jarak antar kontur = 648.1787 m

Jarak tinjau ke kontur atas = 333.2680 m

Untuk mendapatkan elevasi ketinggian pada titik yang ditinjau, dilakukan interpolasi seperti berikut.

$$\begin{aligned}\text{Titik tinjau} &= k_b + \frac{(k_a - k_b)}{\text{jarak kontur}} \times \text{jarak titik} \\ &= 12.5 + \frac{(25.0 - 12.5)}{648.1787} \times 333.2680 \\ &= 18.927 \text{ m}\end{aligned}$$

2. Perhitungan Lengkung Vertikal

Perhitungan Lengkung Vertikal dalam hal ini untuk menentukan kelandaian dari jalan rel yang direncanakan.

Contoh perhitungan Lengkung Vertikal :

Perencanaan Lengkung Vertikal STA 001+500



Gambar 5. 2 Skema Lengkung Vertikal

$$V_{\text{rencana}} = 120 \text{ km/jam}$$

$$R_{\text{lengkung}} = 8000 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}X_m &= \frac{8000}{2} \times (0.240 - 0.250) \\ &= 40.000 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Y_m &= \frac{8000}{8} \times (0.240 - 0.250)^2 \\ &= 0.100 \text{ m}\end{aligned}$$

5.2. Penentuan Profil Jalan Rel

Dalam *Peraturan Menteri Perhubungan No. 60 Tahun 2012*, penentuan jenis rel didasarkan pada kelas jalan rel, seperti tercantum pada **Tabel 5. 5**.

Tabel 5. 5 Kelas Jalan Rel 1067 mm

Kelas Jalan	Daya Angkut Lintas (Juta Ton)	V_{\max} (km/jam)	P_{\max} gandar (ton)	Tipe Rel	Jenis Bantalan/Jarak Bantalan (cm)	Jenis Penambat	Tebal Bala s atas (cm)	Lebar Bah u Bala s
I	> 20	120	18	R60/R54	Beton/60	EG	30	60
II	10 – 20	110	18	R54/R50	Beton/Kayu/60	EG	30	50
III	5 – 10	100	18	R54/R50/R42	Beton/Kayu/Baja/60	EG	30	40
IV	5 – 10	90	18	R54/R50/R42	Beton/Kayu/Baja/60	EG/ET	25	40
V	2,5 – 5	80	18	R54/R50/R42	Kayu/Baja/60	ET	25	35
	< 2,5			R42				

Sumber: Peraturan Menteri Perhubungan No. 60 Tahun 2012

Dalam Tugas Akhir ini, kecepatan rencana yang digunakan adalah 120 km/jam. Berdasarkan **Tabel 5. 5**, maka profil rel yang digunakan adalah R54 dengan spesifikasi sebagai berikut.

- Berat rel teoritis/m (W) : 54.43 kg/m
- Momen inersia (I_x) : 2346 cm⁴
- Modulus elastisitas (E) : 2.1×10^6 kg/cm²
- Luas penampang (A) : 69.34 cm²
- Beban Gandar (P) : 18 t
- Lebar sepur : 1067 mm
- Tegangan ijin rel (σ) : 1325 kg/cm²
- Jarak (Yb) : 76.20 mm = 7.620 cm

Gambar 5. 3 Dimensi Penampang Rel R.54

Dengan menggunakan persamaan Talbot dapat diperoleh tegangan rel sebagai berikut.

$$P_d = P + 0.01 \times P(V - 5) \text{ , dengan } V \text{ dalam mil/jam}$$

$$\begin{aligned} \text{Pd} &= 9000 + 0.01 \cdot 9000 \cdot (74.565 - 5) \\ &= 15260.81 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= \sqrt[4]{\frac{k}{4 \cdot E \cdot I_x}} \\
&= \sqrt[4]{\frac{180}{4 \cdot 2.1 \cdot 10^6 \cdot 2346}} \\
&= 0.009776 / \text{cm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
M_o &= 0.85 \frac{P d}{4 \cdot} \\
&= 0.85 \frac{15260.809}{4 \cdot 0.009776} \\
&= 331718.88 \text{ kgcm}
\end{aligned}$$

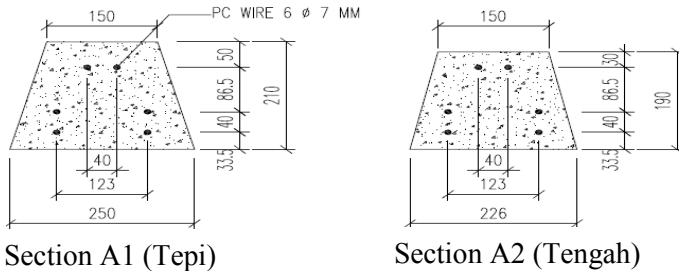
$$\begin{aligned}
\sigma &= \frac{M_o \cdot Y_b}{I_x} \\
&= \frac{331718.88 \cdot 7.62}{2346} \\
&= 1077.4501 \text{ kg/cm}^2
\end{aligned}$$

$$\sigma = 1077.4501 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} < \sigma_{ijin} = 1325 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \dots (\text{OK})$$

5.3. Perencanaan Bantalan

Bantalan beton yang digunakan dalam perencanaan ini, menggunakan bantalan yang diproduksi PT. Wika Beton dengan dimensi sebagai berikut.

- Panjang bantalan = 200 cm
- Kekuatan material (f_c') = 600 kg/cm²
- Kemampuan momen yang diijinkan:
 - Di bawah rel (positif) = 1500 kgm
 - Di bawah rel (negatif) = 750 kgm
 - Di tengah bantalan (positif) = 930 kgm
 - Di tengah bantalan (negatif) = 660 kgm



Gambar 5. 4 Dimensi Penampang Bantalan

5.3.1. Perhitungan Jarak Bantalan

Penentuan jarak antar bantalan menggunakan metode rumus Zimmeman (1998) dalam Wahyudi. H (1993), dengan persamaan sebagai berikut:

$$L = \frac{M_{max}}{0.25 P} \times \frac{4k + 10}{8k + 7}$$

L = jarak bantalan (rencana) = 60 cm

P = beban roda = 9000 kg

σ = tegangan ijin rel = 1325 kg/cm²

B = koefisien lentur rel

D = koefisien bantalan

A = luas bidang pikul bantalan

C = koefisien balas

$$2a = 60 \rightarrow a = 30$$

$$B = \frac{6EI}{a^3} = \frac{6 \times 2.1 \times 10^6 \times 2346}{30^3} = 1094800 \text{ kg}$$

$$A = 2 \times \text{lebar bantalan} \times 0.5 \text{ panjang bantalan} \\ = 2 \times 150 \times 0.5 \times 200 \\ = 30000 \text{ cm}^2$$

$$\begin{aligned}
 D &= 0.5 \times 0.95 \times A \times C \\
 &= 0.5 \times 0.95 \times 30000 \times 8 \\
 &= 114000 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 k &= \frac{B}{D} \\
 &= \frac{1094800}{114000} \\
 &= 9.604 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{max} &= \frac{8k + 7}{4k + 10} \times 0.25 \cdot P \cdot L \\
 &= \frac{76.8 + 7}{38.4 + 10} \times 0.25 \cdot 9000 \cdot 60 \\
 &= 233750.181 \text{ kgcm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 W &= \frac{I_x}{y} \\
 &= \frac{2346}{7.62} \\
 &= 307.874 \text{ cm}^3
 \end{aligned}$$

$$\sigma_{ijin} \geq \frac{M}{W}$$

$$1325 \text{ kg/cm}^2 \geq \frac{233750.181}{307.874} \text{ kg/cm}^2$$

$$1325 \text{ kg/cm}^2 \geq 759.240 \text{ kg/cm}^2 \quad \dots (\text{OK})$$

5.3.2. Perhitungan Tegangan Bantalan

- Luas penampang

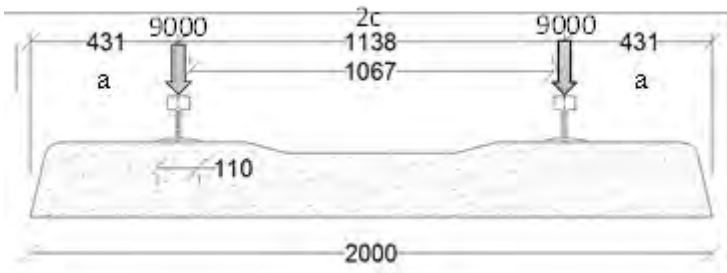
$$\begin{aligned}
 A_1 &= \left(2 \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot \text{alas} \cdot \text{tinggi} \right) \right) + \text{panjang} \cdot \text{lebar} \\
 &= \left(2 \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot 50 \cdot 210 \right) \right) + 150 \cdot 210 \\
 &= 42000 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_2 &= \left(2 \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot \text{alas} \cdot \text{tinggi} \right) \right) + \text{panjang} \cdot \text{lebar} \\
 &= \left(2 \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot 38 \cdot 190 \right) \right) + 150 \cdot 190 \\
 &= 35720 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

- Inersia penampang

$$\begin{aligned}
 I_1 &= 2 \cdot \left(\frac{1}{36} \cdot b \cdot h^3 \right) + \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 \\
 &= 2 \cdot \left(\frac{1}{36} \cdot 5 \cdot 21^3 \right) + \frac{1}{12} \cdot 15 \cdot 21^3 \\
 &= 14148.750 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_2 &= 2 \cdot \left(\frac{1}{36} \cdot b \cdot h^3 \right) + \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 \\
 &= 2 \cdot \left(\frac{1}{36} \cdot 3.8 \cdot 19^3 \right) + \frac{1}{12} \cdot 15 \cdot 19^3 \\
 &= 10021.761 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$



Gambar 5.5 Tegangan yang Terjadi pada Bantalan

$$\begin{aligned}
 E &= 6400 \cdot \sqrt[2]{fc'} \\
 &= 6400 \cdot \sqrt[2]{600} \\
 &= 156767.344 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{k}{4 \cdot E \cdot I}}$$

k = modulus elastisitas jalan rel (180 kg/cm²)

- Area bawah rel

$$\begin{aligned}\lambda &= \sqrt[4]{\frac{k}{4 \cdot E \cdot I}} \\ &= \sqrt[4]{\frac{180}{4 \cdot 156767.344 \cdot 14148.750}} \\ &= 0.0119 \text{ 1/cm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M &= \frac{60\% \cdot Pd}{4 \cdot \lambda} \times \frac{1}{\sinh \lambda L + \sin \lambda L} \times \begin{bmatrix} (2 \cosh^2 a \times (\cos 2 c + \cosh L)) \\ - (2 \cos^2 a \times (\cosh 2 c + \cos L)) \\ - (\sinh 2 a \times (\sin 2 c + \sinh L)) \\ - (\sin 2 a \times (\sinh 2 c + \sin L)) \end{bmatrix} \\ &= \frac{0.6 \cdot 15260.8089}{4 \cdot 0.0119} \times \frac{1}{5.394 + 0.685} \times \begin{bmatrix} (2.578 \times (0.211 + 5.486)) \\ - (1.516 \times (2.073 + (-0.729))) \\ - (1.220 \times (0.977 + 5.394)) \\ - (0.857 \times (1.816 + 5.394)) \end{bmatrix} \\ &= 41155.024 \text{ kgcm}\end{aligned}$$

$$M = 41155.024 < 150000 \text{ kgcm} \dots (\text{OK})$$

- Area tengah bantalan

$$\begin{aligned}\lambda &= \sqrt[4]{\frac{k}{4 \cdot E \cdot I}} \\ &= \sqrt[4]{\frac{180}{4 \cdot 156767.344 \cdot 10021.761}} \\ &= 0.0130 \text{ 1/cm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M &= \frac{60\% \cdot Pd}{4 \cdot \lambda} \times \frac{1}{\sinh \lambda L + \sin \lambda L} \times \left[\begin{aligned} &(\sinh c \times (\sin c + \sin_{(L-c)})) \\ &+ (\sin c \times (\sinh c + \sinh_{(L-c)})) \\ &+ (\cosh c \times \cos_{(L-c)}) \\ &- (\cos c \times \cosh_{(L-c)}) \end{aligned} \right] \\
 &= \frac{0.6 \cdot 15260.8089}{4 \cdot 0.0130} \times \frac{1}{6.707 + 0.514} \times \left[\begin{aligned} &(0.810 \times (0.674 + 0.958)) \\ &+ (0.674 \times (0.810 + 3.139)) \\ &+ (1.287 \times (-0.287)) \\ &- (0.738 \times 3.295) \end{aligned} \right] \\
 &= 28844.240 \text{ kgcm}
 \end{aligned}$$

$$M = 28844.240 < 66000 \text{ kgcm} \dots (\text{OK})$$

5.4. Penambat Rel

Dalam perencanaan geometrik ini, digunakan penambat elastis jenis *pandrol clips*.

Tabel 5. 6 Pandrol Clips Produk Delachaux Group

Clip Series	Bar Diameter (mm)	Approx Clip Meights (kg)	Toe Load
e'1200	12	0.18	200 – 400
e'1400	14	0.3	400 – 600
e'1600	16	0.44	500 – 700
e'1800	18	0.59	800 – 1000
e'2000	20	0.76	1100 - 1400

Sumber: Angga Prasetyo, 2014

- Data Spesifikasi
 - Alat penambat elastic : *Pandrol Clips Type e'1400*
 - Daya jepit : 600 kgf
 - Jumlah pandrol : 4 m
 - Jarak bantalan : 60 cm
- Perhitungan
 - Jumlah pandrol (tiap 4 m jarak gandar)

$$n = \frac{4 \cdot 100}{60} = 6.67 \text{ pasang} \approx 8 \text{ pasang}$$

$$\begin{aligned} \text{Kuat jepit pandrol} &= 8 \cdot 600 \text{ kgf} \\ &= 4800 \text{ kg/pasang} \end{aligned}$$

- Gaya pada alat penambat

- Akibat Pemuaian

$$\begin{aligned} \Delta L &= l \cdot \alpha \cdot \Delta T \\ &= 69.89472 \cdot 0.000012 \cdot 18 \\ &= 0.0151 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F1 &= \frac{\Delta L \cdot E \cdot A}{L} \\ &= \frac{0.0151 \cdot 2100000 \cdot 69.3}{250} \\ &= 8793.489 \text{ kg} \end{aligned}$$

- Tiap jarak gandar (4 m)

$$\begin{aligned} F1 &= \frac{8793489}{250} \times 4 \\ &= 140.696 \text{ kg} \end{aligned}$$

- Akibat roda

$$F2 = f \cdot Pd$$

Kecepatan (km/jam)	20	40	60	80	90	100	110	120
Kecepatan (mil/jam)	12,43	24,80	37,28	49,71	55,92	62,14	68,25	74,57
Koeff.Geser								
Jalan	0,40	0,38	0,32	0,30	-	0,29	-	0,28

$$V = 120 \frac{\text{km}}{\text{jam}} \rightarrow f = 0.28$$

$$\begin{aligned} F2 &= 0.28 \cdot 15260.8089 \\ &= 4273.0265 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jadi, } F1 + F2 &= 140.696 + 4273.0265 \\ &= 4413.7223 \text{ kg} \end{aligned}$$

$F_t < \text{kuat jepit pandrol}$
 $4413.7223kg < 4800kg \dots(\text{OK})$

5.5. Pemasangan Rel

Rel yang digunakan adalah type R54 dengan batas suhu pemasangan pada bantalan beton maksimal 48°C dan minimal 30°C .

$$\begin{aligned} L &= \frac{E \cdot A \cdot \alpha \cdot \Delta T}{r} \\ &= \frac{2100000 \cdot 69.3 \cdot 0.000012 \cdot 18}{450} \\ &= 69.8947 \text{ m} \\ L &\geq 2L \\ &\geq 2 \cdot 69.8947 \\ &\geq 139.7894 \end{aligned}$$

Berdasarkan **Tabel 2. 8** tentang Panjang Minimum Rel dengan bantalan beton untuk tipe R 54 adalah 250 m, sehingga panjang rel minimum rel panjang yang digunakan adalah 250m.

5.5.1. Celah Rel Standar dan Rel Pendek

Besar celah pada sambungan rel pendek dengan panjang 25 m dengan suhu pemasangan 30°C adalah:

$$\begin{aligned} G &= L \cdot \alpha \cdot (40 - t) + 2 \\ &= 25000 \cdot 0.000012 \cdot (40 - 30) + 2 \\ &= 5.00 \text{ mm} \end{aligned}$$

Besar celah pemasangan sambungan minimum pada suhu 30°C berdasarkan **Tabel 2. 9** adalah 4 mm, sehingga besarnya celah pemasangan sambungan yang digunakan adalah 5.00 mm.

5.5.2. Celah rel panjang

Besar celah pada sambungan rel panjang dengan panjang 250 m dengan suhu pemasangan 30°C adalah:

$$G = \frac{E \cdot A \cdot \alpha \cdot (50 - t)^2}{2r} + 2$$

$$= \frac{21000 \cdot 69.3 \cdot 0.000012 \cdot (50 - 30)^2}{2 \cdot 450} + 2$$

$$= 9.766 \text{ mm}$$

Besar celah pemasangan sambungan minimum pada suhu 30°C berdasarkan **Tabel 2. 11** adalah 11 mm, sehingga besarnya celah pemasangan sambungan yang digunakan adalah 11 mm.

5.6. Perencanaan Balas

5.6.1. Lapisan Balas Atas

Jarak dari sumbu jalan rel ke tepi atas lapisan balas atas dapat dihitung dengan cara berikut:

$$b > 0.5 \cdot L + x$$

$$> 0.5 \cdot 200 + 50$$

$$> 150 \text{ cm}$$

5.6.2. Lapisan Balas Bawah

1. Ukuran terkecil dari tebal lapisan balas bawah adalah d2.

Dihitung dengan persamaan:

$$d2 = d - d1 > 15$$

$$d = \sqrt[1.35]{\frac{58 \cdot \sigma 1}{\sigma t}} - 10$$

$$k = be \cdot ke$$

$$= 25 \cdot 12$$

$$= 300 \text{ kg/cm}^2$$

Jarak dari sumbu vertikal ke ujung bantalan (a)	= 43.1 cm
Setengah jarak antara sumbu vertikal rel (c)	= 56.9 cm
Inersia bantalan (I)	= 14148.75 mm ⁴
Modulus elastisitas bantalan (E)	= 156767.344 kg/cm ²
V _{ren}	= 120 km/jam
Beban dinamis (Pd)	= 15260.8089 kg
Panjang bantalan (l)	= 200 cm
Lebar bawah bantalan (b)	= 25 cm

$$\begin{aligned}
 \lambda &= \sqrt[4]{\frac{300}{4 \cdot E \cdot I}} \\
 &= \sqrt[4]{\frac{300}{4 \cdot 156767.344 \cdot 14148.75}} \\
 &= 0.0136 \text{ 1/cm}
 \end{aligned}$$

$$\sigma_1 = \frac{60\% \cdot Pd \cdot \lambda}{2b} \times \frac{1}{\sinh \lambda l + \sin \lambda l} \times \begin{bmatrix} (2 \cosh^2 a \times (\cos 2c + \cosh L)) \\ + (2 \cos^2 a \times (\cosh 2c + \cos L)) \\ + (\sinh 2a \times (\sin 2c - \sinh L)) \\ - (\sin 2a \times (\sinh 2c - \sin L)) \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned}
 \sigma_1 &= \frac{0.6 \cdot 15260.8089 \cdot 0.0136}{2 \cdot 25} \times \frac{1}{7.497 + 0.416} \times \begin{bmatrix} (2.765 \times (0.028 + 7.5635)) \\ + (1.391 \times (2.447 + (-0.909))) \\ + (1.454 \times (1.000 - 0.416)) \\ - (0.920 \times (2.233 - 0.416)) \end{bmatrix} \\
 &= 6.998 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 d &= \sqrt[1.35]{\frac{58 \cdot 6.998}{1.200}} - 10 \\
 &= 73.089 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 d_2 &= d - d_1 > 15 \\
 &= 73.089 - 30 > 15 \\
 &= 43.089 > 15 \text{ cm} \quad \dots \text{ (OK)}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan **Tabel 2. 13**, tebal subbalas (d2) adalah 15 – 50 cm. Dalam perencanaan ini, digunakan tebal subbalas (d2) sebesar 45 cm.

2. Jarak dari sumbu rel kereta api ke tepi atas lapisan balas bawah (k)
- Lebar bawah bantalan (b) = 25 cm

Panjang bantalan (l) = 200 cm

m (jarak tepi bawah balas atas ke tepi atas balas bawah) = 30 cm

Tebal minimum ballas (d_1) = 30 cm

- Lintasan lurus

$$\begin{aligned} k_1 &> b + 2d_1 + m \\ &> 25 + 60 + 30 \\ &> 115 \text{ cm} \end{aligned}$$

Berdasarkan **Tabel 2. 13**, k_1 minimal sebesar 265 cm, dan digunakan k_1 sebesar 282 cm

- Lintasan tikungan

$$h \text{ (peninggian rel)} = 109.846 \text{ mm} = 10.985 \text{ cm}$$

$$t \text{ (tebal bantalan)} = 21.000 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} e &= (b + 0.5) \times \frac{h}{l} + t \\ &= (25 + 0.5) \times \frac{10.985}{200} + 21.000 \\ &= 22.401 \text{ cm} \end{aligned}$$

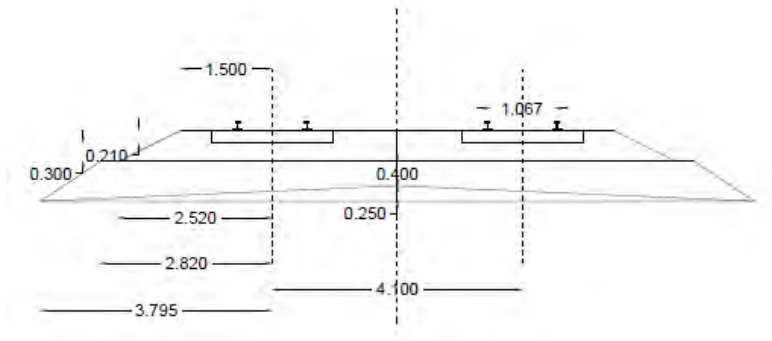
Berdasarkan **Tabel 2. 13**, diambil e sebesar 25 cm.

$$\begin{aligned} k_1 d &= b + 2d_1 + m + 2e \\ &= 25 + 60 + 30 + 50 \\ &= 165 \text{ cm} \end{aligned}$$

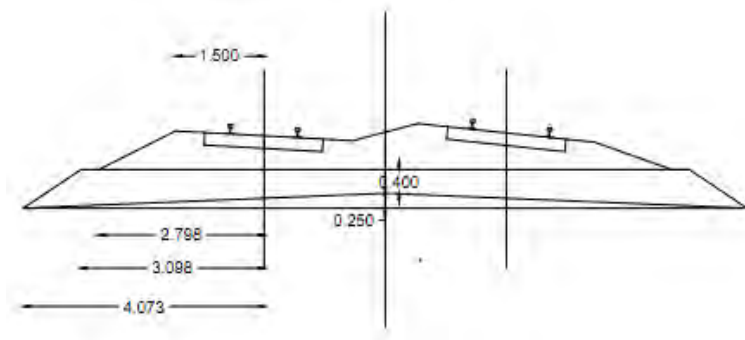
Digunakan $k_1 d = 282 \text{ cm}$.

- Tegangan yang terjadi

$$\begin{aligned} \sigma_2 &= \frac{58 \cdot \sigma_1}{10 + d^{1.35}} \leq 1.4 \\ &= \frac{58 \cdot 6.998}{10 + 73.089^{1.35}} \leq 1.4 \\ &= 1.2 \leq 1.4 \dots (\text{OK}) \end{aligned}$$



Gambar 5. 6 Penampang Melintang Jalan Rel pada Bagian Lurus



Gambar 5. 7 Penampang Melintang Jalan Rel pada Lengkungan

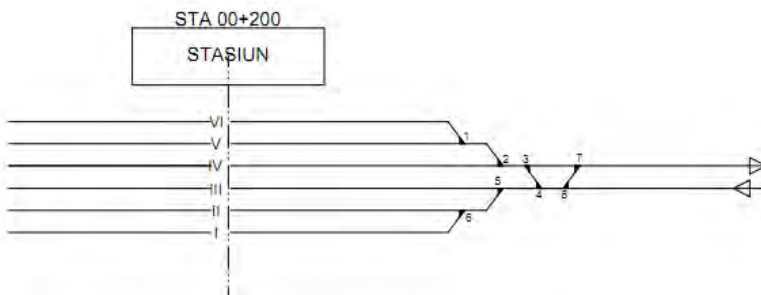
5.7. Perencanaan Emplasemen Stasiun

Pada perencanaan trase Socah – Sampang ini, akan dibuat 5 stasiun dengan pertimbangan operasional dan demand kereta api. Lokasi penempatan stasiun berada pada stasioning sebagai berikut.

1. Sta 00+200

Sta 00+200 merupakan titik awal dalam perencanaan trase ini yang berlokasi di Socah. Lokasi ini dipilih karena lokasi ini berada di dekat pelabuhan internasional peti kemas socah yang nantinya akan memudahkan dalam memobilisasi barang yang akan didistribusikan ke daerah lain yang ada di Pulau Madura.

Pada stasiun ini terdapat lima sepur dengan panjang emplasemen terpendek 400 m dan juga terdapat *Cross Over* yang dipersiapkan jika terjadi keadaan darurat yang mengharuskan kereta api untuk berpindah jalur.



Gambar 5. 8 Emplasemen pada STA 00+200

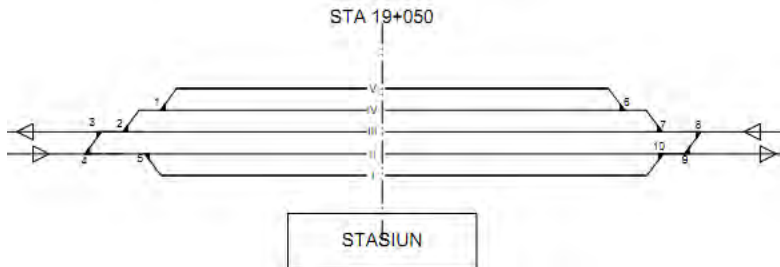
Tabel 5. 7 Data Wesel pada Emplasemen STA 00+200

No Wesel	Jenis Wesel	Konstruksi Lidah	Jenis Bantalan	Keterangan
	Biasa/Inggris	Putar/Pegas		
1	Biasa kanan	Pegas	Beton	Panjang sepur siding: I = 400 m II = 435 m III = 485 m IV = 470 m V = 435 m VI = 400 m
2	Biasa kanan	Pegas	Beton	
3	Biasa kanan	Pegas	Beton	
4	Biasa kanan	Pegas	Beton	
5	Biasa kiri	Pegas	Beton	
6	Biasa kiri	Pegas	Beton	
7	Biasa kiri	Pegas	Beton	
8	Biasa kiri	Pegas	Beton	

2. Sta 19+050

Sta 19+050 berada di Desa Pasanggrahan. Lokasi ini dipilih karena dekat dengan jalan lokal, sehingga memudahkan masyarakat dalam menggunakan moda transportasi kereta api.

Pada stasiun ini terdapat lima sepur dengan panjang emplasemen terpendek 400 m.



Gambar 5. 9 Emplasemen pada STA 19+050

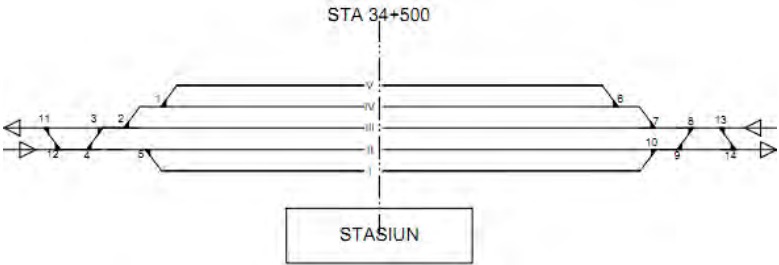
Tabel 5. 8 Data Wesel pada Emplasemen STA 19+050

No Wesel	Jenis Wesel	Konstruksi Lidah	Jenis Bantalan	Keterangan
	Biasa/Inggris	Putar/Pegas		
1	Biasa kiri	Pegas	Beton	Panjang sepur siding: I = 400 m II = 480 m III = 555.3 m IV = 469.5 m V = 400 m
2	Biasa kiri	Pegas	Beton	
3	Biasa kiri	Pegas	Beton	
4	Biasa kiri	Pegas	Beton	
5	Biasa kanan	Pegas	Beton	
6	Biasa kanan	Pegas	Beton	
7	Biasa kanan	Pegas	Beton	
8	Biasa kiri	Pegas	Beton	
9	Biasa kiri	Pegas	Beton	
10	Biasa kiri	Pegas	Beton	

3. Sta 34+500

Sta 34+500 berada di Desa Srabi Barat. Lokasi direncanakan dibangun sebagai stasiun operasional yang diharapkan dapat membantu perjalanan kereta api.

Pada stasiun ini terdapat lima sepur dengan panjang emplasemen terpendek 400 m dan juga terdapat *Cross Over* yang dipersiapkan jika terjadi keadaan darurat yang mengharuskan kereta api untuk berpindah jalur.



Gambar 5. 10 Emplasemen pada STA 34+500

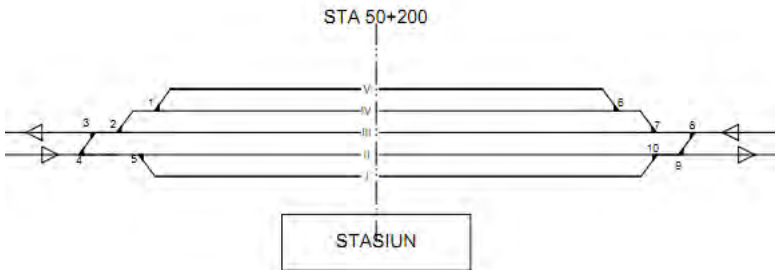
Tabel 5. 9 Data Wesel pada Emplasemen STA 34+500

No Wesel	Jenis Wesel	Konstruksi Lidah	Jenis Bantalan	Keterangan
	Biasa/Inggris	Putar/Pegas		
1	Biasa kiri	Pegas	Beton	Panjang sepur siding: I = 400 m II = 480 m III = 555.3 m IV = 469.5 m V = 400 m
2	Biasa kiri	Pegas	Beton	
3	Biasa kiri	Pegas	Beton	
4	Biasa kiri	Pegas	Beton	
5	Biasa kanan	Pegas	Beton	
6	Biasa kanan	Pegas	Beton	
7	Biasa kanan	Pegas	Beton	
8	Biasa kiri	Pegas	Beton	
9	Biasa kiri	Pegas	Beton	
10	Biasa kiri	Pegas	Beton	
11	Biasa kanan	Pegas	Beton	
12	Biasa kanan	Pegas	Beton	
13	Biasa kanan	Pegas	Beton	
14	Biasa kanan	Pegas	Beton	

4. Sta 50+200

Sta 50+200 berada di Desa Blega. Lokasi ini dipilih karena dekat dengan jalan lokal, sehingga memudahkan masyarakat dalam menggunakan moda transportasi kereta api.

Pada stasiun ini terdapat lima sepur dengan panjang emplasemen terpendek 400 m.



Gambar 5. 11 Emplasemen pada STA 50+200

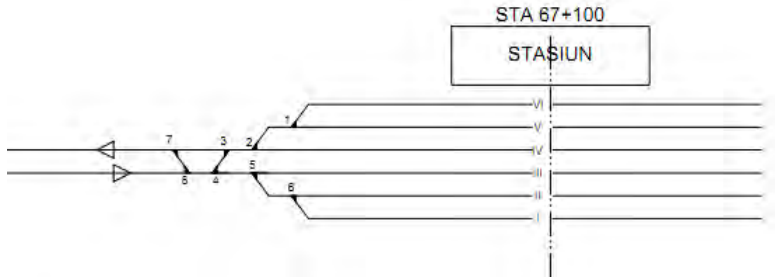
Tabel 5. 10 Data Wesel pada Emplasemen STA 50+200

No Wesel	Jenis Wesel	Konstruksi Lidah	Jenis Bantalan	Keterangan
	Biasa/Inggris	Putar/Pegas		
1	Biasa kiri	Pegas	Beton	Panjang sepur siding: I = 400 m II = 480 m III = 555.3 m IV = 469.5 m V = 400 m
2	Biasa kiri	Pegas	Beton	
3	Biasa kiri	Pegas	Beton	
4	Biasa kiri	Pegas	Beton	
5	Biasa kanan	Pegas	Beton	
6	Biasa kanan	Pegas	Beton	
7	Biasa kanan	Pegas	Beton	
8	Biasa kiri	Pegas	Beton	
9	Biasa kiri	Pegas	Beton	
10	Biasa kiri	Pegas	Beton	

5. Sta 67+100

Sta 67+100 merupakan titik akhir dalam perencanaan trase ini dan berlokasi di Kelurahan Gunung Sekar, Sampang.

Pada stasiun ini terdapat lima sepur dengan panjang emplasemen terpendek 400 m dan juga terdapat *Cross Over* yang dipersiapkan jika terjadi keadaan darurat yang mengharuskan kereta api untuk berpindah jalur.



Gambar 5. 12 Emplasemen pada STA 67+100

Tabel 5. 11 Data Wesel pada Emplasemen STA 67+100

No Wesel	Jenis Wesel	Konstruksi Lidah	Jenis Bantalan	Keterangan
	Biasa/Inggris	Putar/Pegas		
1	Biasa kiri	Pegas	Beton	Panjang sepur siding: I = 400 m II = 435 m III = 485 m IV = 470 m V = 435 m VI = 400 m
2	Biasa kiri	Pegas	Beton	
3	Biasa kiri	Pegas	Beton	
4	Biasa kiri	Pegas	Beton	
5	Biasa kanan	Pegas	Beton	
6	Biasa kanan	Pegas	Beton	
7	Biasa kanan	Pegas	Beton	
8	Biasa kanan	Pegas	Beton	

BAB VI

RENCANA ANGGARAN BIAYA

Rencana anggaran biaya pada Tugas Akhir ini hanya membahas mengenai biaya struktur dan pelaksanaan proyek dan tidak melakukan perhitungan terhadap biaya operasional dan produktivitas kerja.

Beberapa hal yang akan dibahas dalam perhitungan rencana anggaran biaya ini adalah:

1. Rincian jenis pekerjaan (*Work breakdown structure*)
2. Analisa harga satuan pekerjaan konstruksi
3. Rekapitulasi rencana anggaran biaya.

Daftar harga satuan dan rincian jenis pekerjaan mengacu pada **Peraturan Menteri Perhubungan No. 75 Tahun 2013** tentang *Standar Biaya Tahun 2014 di Lingkungan Kementerian Perhubungan*.

6.1. Perhitungan Volume Pekerjaan

Penjelasan pekerjaan *track* dan perhitungan volume pekerjaan dapat dilihat pada **Tabel 6. 1**.

Tabel 6. 1 Volume Pekerjaan Jalur Kereta Api Socah - Sampang

Kegiatan	Volume	Satuan	Keterangan			
Pengadaan Bahan						
Volume balas pecah Vol = (L (a+b))/2*t	193759.44	m ³	Dimana	L = 79540 m	Panjang jalan rel	
				a = 7.1 m	Lebar balas atas	
				b = 9.14 m	Lebar balas bawah	
				t = 0.3 m	Tinggi balas	
Volume sub balas Vol = (L (a+b))/2*t	340908.44	m ³	Dimana	L = 79540 m	Panjang jalan rel	
				a = 9.74 m	Lebar subbalas atas	
				b = 11.69 m	Lebar subbalas bawah	
				t = 0.4 m	Tinggi balas	
Volume bantalan beton dan penambat Vol = L/a	132567	set	Dimana	L = 79540 m	Panjang jalan rel baru	
				a = 0.6 m	Jarak antar bantalan	
Pekerjaan Persiapan						
Pembebasan lahan	217710.3	m ²				
Pembersihan lahan (25% x L = 4 m' x P)	19885	m ²				
Membuat direksi keet	360	m ²				

Luas = 17 * Luas direksi keet (18 m ²)			
Perlengkapan dan penereangan direksi keet	17	ls	
Membuat alat semboyan	796	unit	
Pengukuran dan pasang patok	318160	m'sp	
Bongkar direksi keet dan gudang kerja	360	m ²	
Pekerjaan Balas dan Rel			
Pengadaaan dan menggelar sub balas	340908.44	m ³	
Angkat listrik dengan MTT, didahului HTT >60 km/jam	79540	m	
Galian	255879.1245	m ³	
Timbunan	160181.7169	m ³	
Angkutan termasuk muat bongkar rel R 54	79540	m'	
Pemasangan bantalan beton lengkap degan alat penambat elastis	132567	set	
Menyetel dan pemasangan rel R 54	79540	m'	

Mengelas rel	3182	titik	
Pasang dan stel wesel R 54	50	unit	
Pembuatan saluran pembuangan	79540	m	

6.2. Perhitungan Biaya Pekerjaan

Analisa setiap pekerjaan konstruksi jalan rel trase Socah – Sampang ini, menggunakan **Peraturan Menteri Perhubungan No. 75 Tahun 2013** tentang *Standar Biaya Tahun 2014 di Lingkungan Kementerian Perhubungan*. Perhitungan analisa pekerjaan pada proyek ini, dapat dilihat pada **Tabel 6. 2**.

Tabel 6. 2 Analisa Harga Satuan

Kegiatan	Volume	Satuan	Harga satuan		Harga	
Pengadaan Bahan						
Balas kricak ukuran 2x6 ecer di lokasi						
Harga balas batu pecah 2/6 di Quarry	1.0000	m ³	Rp	248,243.21	Rp	248,243.21
Ongkos angkut maksimum dari Quarry ke Depo balas tempat muat						
Pekerja	0.3700	OH	Rp	80,814.96	Rp	29,901.54
Mandor	0.0300	OH	Rp	123,988.39	Rp	3,719.65
Ongkos muat ke gerbong dengan orang						
Pekerja	0.1333	OH	Rp	80,814.96	Rp	10,772.63
Ongkos bongkar dan ecer di lokasi						
Pekerja	0.1170	OH	Rp	80,814.96	Rp	9,455.35
Mandor	0.0030	OH	Rp	123,988.39	Rp	371.97
Biaya administrasi angkutan balas dengan KA	1.0000	m ³	Rp	96,162.00	Rp	96,162.00

Jumlah					Rp	398,626.35
Pekerjaan Persiapan						
Pembersihan lahan (25% x L = 4 m' x P)						
Mandor	0.0050	OH	Rp	123,988.39	Rp	619.94
Kepala tukang	0.0500	OH	Rp	109,596.89	Rp	5,479.84
Tukang kayu	0.0500	OH	Rp	95,192.55	Rp	4,759.63
Pekerja	0.0500	OH	Rp	80,814.96	Rp	4,040.75
Jumlah					Rp	14,900.16
Membuat direksi keet	0.0556	m ²	Rp	6,630,707.99	Rp	368,667.36
Perlengkapan dan penereangan direksi keet	1.0000	ls	Rp	228,000.00	Rp	228,000.00
Membuat alat semboyan						
Pekerja	2.0000	OH	Rp	80,814.96	Rp	161,629.92
Bambu dia. 5-7cm	3.0000	batang	Rp	18,190.00	Rp	54,570.00
Triplek t=4mm	1.0000	lbr	Rp	85,600.00	Rp	85,600.00
Cat besi	1.0000	kg	Rp	77,280.75	Rp	77,280.75
Kain bendera	1.5000	m ²	Rp	59,278.00	Rp	88,917.00
Lampu semboyan	2.0000	buah	Rp	280,000.00	Rp	560,000.00

Jumlah					Rp	1,027,997.67
Pengukuran dan pasang patok (track baru)						
Juru ukur	0.0286	OH	Rp	86,635.76	Rp	2,477.78
Pekerja	0.0286	OH	Rp	80,814.96	Rp	2,311.31
Patok beton	0.2286	buah	Rp	100,000.00	Rp	22,860.00
Theodolite	0.0571	jam	Rp	85,942.00	Rp	4,907.29
Alat bantu pengukuran dan stacking out	0.0286	ls	Rp	25,000.00	Rp	715.00
Pengadaan dan pemasangan patok HM/KM						
Bekisting patok HM/KM	0.4800	m ²	Rp	946,332.89	Rp	454,239.79
Beton K-250	0.0160	m ³	Rp	1,713,135.05	Rp	27,410.16
Pemasangan Patok HM/KM	1.0000	buah	Rp	80,814.96	Rp	80,814.96
Pengecatan tanda-tanda di lintas (patok KM/HM dll)	0.5000	m ²	Rp	62,518.86	Rp	31,259.43
Jumlah					Rp	626,995.72
Jaga malam/keamanan peralatan kerja dan mesin-mesin						
Pekerja	1.0000	OH	Rp	80,814.96	Rp	80,814.96
Jumlah					Rp	80,814.96

Bongkar direksi keet dan gudang kerja					
Pekerja	0.1286	OH	Rp	80,814.96	Rp 10,392.80
Mandor	0.0214	OH	Rp	123,988.39	Rp 2,653.35
Jumlah					Rp 13,046.16
Pekerjaan Balas dan Rel					
Pengadaaan dan menggelar sub balas					
Subbalas sirtu uk. 0.2-2 cm ecer di lokasi	1.2000	m ³	Rp	453,132.55	Rp 543,759.06
Menghampar, meratakan subbalas berikut pemadatan	0.0167	60 m ³	Rp	1,963,006.68	Rp 32,782.21
Jumlah					Rp 576,541.27
Angkat listrik dengan MTT, didahului HTT >60 km/jam					
s.d kecepatan 20 km/jam dari 5 km/jam	1.0000	m'sp	Rp	35,421.24	Rp 35,421.24
s.d kecepatan 40 km/jam dari 20 km/jam	1.0000	m'sp	Rp	64,253.30	Rp 64,253.30
s.d kecepatan 60 km/jam dari 40 km/jam	1.0000	m'sp	Rp	69,910.35	Rp 69,910.35

> dari kecepatan 60 km/jam dikerjakan dengan alat berat (MTT, PBR, dsb)	1.0000	m'sp	Rp	165,614.84	Rp	165,614.84
Jumlah					Rp	335,199.73
Galian						
Pekerja	0.0857	OH	Rp	80,814.96	Rp	6,925.84
Mandor	0.0014	OH	Rp	123,988.39	Rp	173.58
Excavator	0.2730	jam	Rp	374,500.00	Rp	102,238.50
Dump truck 3.5 ton	0.0877	jam	Rp	160,500.00	Rp	14,075.85
Alat bantu	1.0000	ls	Rp	4,387.00	Rp	4,387.00
Jumlah					Rp	127,800.78
Timbunan						
Pekerja	0.3750	OH	Rp	80,814.96	Rp	30,305.61
Mandor	0.0125	OH	Rp	123,988.39	Rp	1,549.85
Dump truck 3.5 ton	0.2289	jam	Rp	160,500.00	Rp	36,738.45
Alat bantu	1.0000	ls	Rp	4,387.00	Rp	4,387.00
Jumlah					Rp	72,980.91
Pemasangan bantalan beton lengkap degan alat penambat elastis termasuk angkut dan ecer						

Mandor	0.2114	OH	Rp	123,988.39	Rp	26,211.15
Pekerja	0.0043	OH	Rp	80,814.96	Rp	347.50
Alat bantu	1.0000	ls	Rp	4,173.00	Rp	4,173.00
Jumlah					Rp	30,731.65
Menyetel dan pemasangan rel R 54						
Pekerja	2.2620	OH	Rp	80,814.96	Rp	182,803.44
Mandor	0.0836	OH	Rp	123,988.39	Rp	10,365.43
Jumlah					Rp	193,168.87
Ongkos angkut dan ecer bantalan beton + penambat						
Pekerja	0.3700	OH	Rp	80,814.96	Rp	29,901.54
Mandor	0.0300	OH	Rp	123,988.39	Rp	3,719.65
Alat bantu	1.0000	ls	Rp	4,173.00	Rp	4,173.00
Jumlah					Rp	37,794.19
Angkutan termasuk muat bongkar rel R 54						
Pekerja	0.0550	OH	Rp	80,814.96	Rp	4,444.82
Mandor	0.0260	OH	Rp	123,988.39	Rp	3,223.70
Kawat pral	0.0500	kg	Rp	40,821.57	Rp	2,041.08

Jumlah					Rp	9,709.60
Mengelas rel dengan las thermit						
Pembantu tukang las	0.7500	OH	Rp	57,245.00	Rp	42,933.75
Pengawa pekerjaan las	0.2500	OH	Rp	86,635.76	Rp	21,658.94
Tukang gerinda	0.5000	OH	Rp	75,258.45	Rp	37,629.23
Tukang las	0.5000	OH	Rp	95,192.55	Rp	47,596.28
Pengetetan dengan ultrasonic	1.0000	ls	Rp	19,260.00	Rp	19,260.00
Mesin gerinda MP 12 (/hari)	0.2500	hari	Rp	141,454.00	Rp	35,363.50
Mesin gerinda tangan (/hari)	0.2500	hari	Rp	128,614.00	Rp	32,153.50
Mesin weld sher (manual) (/hari)	0.2500	hari	Rp	123,692.00	Rp	30,923.00
Bensin	1.5000	ltr	Rp	6,420.00	Rp	9,630.00
Gas LPG	0.0300	kg	Rp	5,885.00	Rp	176.55
Oksigen	0.1500	m3	Rp	26,750.00	Rp	4,012.50
Oli SAE 30-40	0.0600	ltr	Rp	30,495.00	Rp	1,829.70
Tenda plastik 3x4	0.0100	buah	Rp	235,079.00	Rp	2,350.79
Apron	0.0150	buah	Rp	160,500.00	Rp	2,407.50
Batu gerinda tangan	0.1500	buah	Rp	38,627.00	Rp	5,794.05
Blender pemanas	0.0090	set	Rp	3,267,245.00	Rp	29,405.21

Kikir segi empat uk 1.5"	0.0200	buah	Rp	83,032.00	Rp	1,660.64
Kunci baut lasplat	0.0010	buah	Rp	89,987.00	Rp	89.99
Kunci inggris 12"	0.0020	buah	Rp	128,721.00	Rp	257.44
Kunci ring/pas	0.0020	set	Rp	119,626.00	Rp	239.25
Kunci tirepond	0.0010	buah	Rp	133,964.00	Rp	133.96
Linggis bengkok	0.0060	buah	Rp	180,081.00	Rp	1,080.49
Mistas pelurus rel 1 m	0.0100	buah	Rp	565,923.00	Rp	5,659.23
Pahat ganjal	0.0150	buah	Rp	9,951.00	Rp	149.27
Palu konde 1 kg	0.0100	buah	Rp	42,479.00	Rp	424.79
Palu/martil 4 kg	0.0040	buah	Rp	63,665.00	Rp	254.66
Pandpuller	0.0010	buah	Rp	127,330.00	Rp	127.33
Regulator elpiji	0.0050	buah	Rp	96,514.00	Rp	482.57
Regulator oksigen	0.0050	buah	Rp	154,294.00	Rp	771.47
Sarung tangan panjang	0.0300	set	Rp	26,857.00	Rp	805.71
Sarung tangan pendek	0.0300	set	Rp	2,675.00	Rp	80.25
Sekop	0.1000	buah	Rp	51,360.00	Rp	5,136.00
Sepatu las	0.0010	set	Rp	167,241.00	Rp	167.24
Set bahan las	1.0000	set	Rp	1,365,320.00	Rp	1,365,320.00
Sikat baja	0.0500	buah	Rp	12,733.00	Rp	636.65

Stop watch	0.0010	buah	Rp	308,695.00	Rp	308.70
Kacamata las	0.0100	buah	Rp	39,590.00	Rp	395.90
Kain lap/majun	0.0200	lbr	Rp	7,490.00	Rp	149.80
Dongkrak alignment beam	0.0050	bh	Rp	5,233,825.00	Rp	26,169.13
Jumlah					Rp	1,733,624.94
Mengelas sambungan rel dengan elektroda di siang hari						
Pekerja	0.2000	OH	Rp	80,814.93	Rp	16,162.99
Pengawas	0.2000	OH	Rp	123,988.39	Rp	24,797.68
Tukang Gerinda	0.4000	OH	Rp	75,258.45	Rp	30,103.38
Tukang las	0.4000	OH	Rp	95,192.55	Rp	38,077.02
Mesin gerinda profil	1.0000	jam	Rp	35,588.20	Rp	35,588.20
Mein las 40 Amp	1.0000	jam	Rp	277,208.11	Rp	277,208.11
Acetylin @45kg	0.0700	tabung	Rp	395,900.00	Rp	27,713.00
Bensin	1.5000	ltr	Rp	6,420.00	Rp	9,630.00
Oksigen	0.1500	m3	Rp	26,750.00	Rp	4,012.50
Oli SAE 30-40	0.0500	ltr	Rp	30,495.00	Rp	1,524.75
Solar	7.0000	ltr	Rp	10,270.00	Rp	71,890.00
Tenda plastik 3x4	0.0100	buah	Rp	235,079.00	Rp	2,350.79

Batu gerinda profil	0.0200	buah	Rp	450,149.00	Rp	9,002.98
Batu gerinda tangan	0.3000	buah	Rp	38,627.00	Rp	11,588.10
Blender pemanas	0.0090	set	Rp	3,267,245.00	Rp	29,405.21
Kunci baut lasplat	0.0020	buah	Rp	89,987.00	Rp	179.97
Kunci ring/pas	0.0020	set	Rp	119,626.00	Rp	239.25
Kunci tirepond	0.0010	buah	Rp	133,964.00	Rp	133.96
Linggis bengkok	0.0060	buah	Rp	180,081.00	Rp	1,080.49
Mistar pelurus rel 1 m	0.0010	buah	Rp	565,923.00	Rp	565.92
Mold tembaga	0.0100	kg	Rp	810,311.00	Rp	8,103.11
Pahat ganjal	0.0100	buah	Rp	9,951.00	Rp	99.51
Palu konde 1 kg	0.0100	buah	Rp	42,479.00	Rp	424.79
Palu/martil 4 kg	0.0040	buah	Rp	63,665.00	Rp	254.66
Pandpuller	0.0020	buah	Rp	127,330.00	Rp	254.66
Regulator acetyln	0.0050	set	Rp	854,181.00	Rp	4,270.91
Regulator oksigen	0.0050	set	Rp	154,294.00	Rp	771.47
Sarung tangan panjang	0.0100	set	Rp	26,857.00	Rp	268.57
Sarung tangan pendek	0.0100	set	Rp	2,675.00	Rp	26.75
Sepatu las	0.0010	set	Rp	167,241.00	Rp	167.24
Sikat baja	0.0500	buah	Rp	12,733.00	Rp	636.65

Kacamata las	0.0100	buah	Rp	39,590.00	Rp	395.90
Kain lap/majun	0.0500	lbr	Rp	7,490.00	Rp	374.50
Elektroda untuk layer	1.2000	kg	Rp	129,800.00	Rp	155,760.00
Elektroda untuk pengelasan	0.3000	kg	Rp	145,100.00	Rp	43,530.00
Jumlah					Rp	806,593.01
Mengelas sambungan rel dengan elektroda di malam hari						
Pekerja	0.3000	OH	Rp	80,814.93	Rp	24,244.48
Pengawas	0.3000	OH	Rp	123,988.39	Rp	37,196.52
Tukang Gerinda	0.6000	OH	Rp	75,258.45	Rp	45,155.07
Tukang las	0.6000	OH	Rp	95,192.55	Rp	57,115.53
Biaya pengamanan dan transportasi	1.0000	ls	Rp	38,520.00	Rp	38,520.00
Pengetesan dengan ultrasonic	1.0000	ls	Rp	19,260.00	Rp	19,260.00
Generator set	1.2500	jam	Rp	272,850.00	Rp	341,062.50
Mesin gerinda profil	1.0000	jam	Rp	35,588.20	Rp	35,588.20
Mein las 40 Amp	1.0000	jam	Rp	277,208.11	Rp	277,208.11
Acetylin @45kg	0.0700	tabung	Rp	395,900.00	Rp	27,713.00
Bensin	1.5000	ltr	Rp	6,420.00	Rp	9,630.00

Oksigen	0.1500	m3	Rp	26,750.00	Rp	4,012.50
Oli SAE 30-40	0.0500	ltr	Rp	30,495.00	Rp	1,524.75
Solar	7.0000	ltr	Rp	10,270.00	Rp	71,890.00
Tenda plastik 3x4	0.0100	buah	Rp	235,079.00	Rp	2,350.79
Batu gerinda profil	0.0200	buah	Rp	450,149.00	Rp	9,002.98
Batu gerinda tangan	0.3000	buah	Rp	38,627.00	Rp	11,588.10
Blender pemanas	0.0090	set	Rp	3,267,245.00	Rp	29,405.21
Kunci baut lasplat	0.0020	buah	Rp	89,987.00	Rp	179.97
Kunci ring/pas	0.0020	set	Rp	119,626.00	Rp	239.25
Kunci tirepond	0.0010	buah	Rp	133,964.00	Rp	133.96
Linggis bengkok	0.0060	buah	Rp	180,081.00	Rp	1,080.49
Mistar pelurus rel 1 m	0.0010	buah	Rp	565,923.00	Rp	565.92
Mold tembaga	0.0100	kg	Rp	810,311.00	Rp	8,103.11
Pahat ganjal	0.0100	buah	Rp	9,951.00	Rp	99.51
Palu konde 1 kg	0.0100	buah	Rp	42,479.00	Rp	424.79
Palu/martil 4 kg	0.0040	buah	Rp	63,665.00	Rp	254.66
Pandpuller	0.0020	buah	Rp	127,330.00	Rp	254.66
Regulator acetyln	0.0050	set	Rp	854,181.00	Rp	4,270.91
Regulator oksigen	0.0050	set	Rp	154,294.00	Rp	771.47

Sarung tangan panjang	0.0100	set	Rp	26,857.00	Rp	268.57
Sarung tangan pendek	0.0100	set	Rp	2,675.00	Rp	26.75
Sepatu las	0.0010	set	Rp	167,241.00	Rp	167.24
Sikat baja	0.0500	buah	Rp	12,733.00	Rp	636.65
Kacamata las	0.0100	buah	Rp	39,590.00	Rp	395.90
Kain lap/majun	0.0500	lbr	Rp	7,490.00	Rp	374.50
Elektroda untuk layer	1.2000	kg	Rp	129,800.00	Rp	155,760.00
Elektroda untuk pengelasan	0.3000	kg	Rp	145,100.00	Rp	43,530.00
Jumlah					Rp	1,260,006.05
Memotong rel						
Pekerja	0.1250	OH	Rp	80,814.96	Rp	10,101.87
Mandor	0.0370	OH	Rp	123,988.39	Rp	4,587.57
Gergaji standar	0.5000	buah	Rp	14,809.87	Rp	7,404.94
Jumlah					Rp	22,094.38
Mengebor rel titap titik potongan						
Pekerja	0.1250	OH		Rp80,814.96		Rp10,101.87
Mandor	0.0220	OH		Rp123,988.39		Rp2,727.74
Sewa mesin bor dan bahan bakat/lubang	1.0000	buah		Rp84,861.70		Rp84,861.70

Jumlah				Rp97,691.31
Pasang dan stel wesel R 54				
Menyetel wesel baru per unit wesel R54	1.0000	unit	Rp5,096,874.38	Rp5,096,874.38
Membuat stapling pergeseran wesel	1.0000	unit	Rp280,542.66	Rp280,542.66
Memasukkan/mengeluarkan wesel per unit	1.0000	unit	Rp16,296,874.38	Rp16,296,874.38
Angkat listring R54	1.0000	unit	Rp169,584.89	Rp169,584.89
Jumlah				Rp21,843,876.31
Pembuatan saluran pembuangan				
Pekerja	0.3010	OH	Rp80,814.96	Rp24,325.30
Mandor	0.0105	OH	Rp123,988.39	Rp1,301.88
Alat bantu	1.0000	ls	Rp4,387.00	Rp4,387.00
Jumlah				Rp30,014.18

Tabel 6. 3 Rekapitulasi Rencana Anggaran Biaya

Pekerjaan : Pembangunan Jalan Rel
 Volume : KM 00+000 s/d KM 67+372 sepanjang 67,372 km
 Lokasi : Socah – Sampang, Madura

Kegiatan	Volume	Satuan	Harga Satuan	Jumlah
Pengadaan Bahan				
Volume balas pecah	193759.44	m ³	Rp 398,626.35	Rp 77,237,617,678.32
Volume bantalan beton dan penambat	132567	set	Rp 620,000.00	Rp 82,191,540,000.00
Pekerjaan Persiapan				
Pembebasan lahan	217710.3	m ²	Rp 1,500,000.00	Rp 326,565,450,000.00
Pembersihan lahan (25% x L = 4 m' x P)	19885	m ²	Rp 14,900.16	Rp 296,289,720.38
Membuat direksi keet	360	m ²	Rp 368,667.36	Rp 132,720,251.13
Perlengkapan dan penereangan direksi keet	17	ls	Rp 228,000.00	Rp 3,876,000.00
Membuat alat semboyan	796	unit	Rp 1,027,997.67	Rp 818,286,145.32
Pengukuran dan pasang patok	318160	m'sp	Rp 626,995.72	Rp 199,484,957,254.54
Bongkar direksi keet dan gudang kerja	360	m ²	Rp 13,046.16	Rp 4,696,615.94

Pekerjaan Balas dan Rel				
Pengadaan dan menggelar sub balas	340908.44	m ³	Rp 576,541.27	Rp 196,547,785,481.77
Angkat listrik dengan MTT, didahului HTT >60 km/jam	79540	m	Rp 335,199.73	Rp 26,661,786,524.20
Galian	255879.12	m ³	Rp 127,800.78	Rp 32,701,550,623.46
Timbunan	160181.72	m ³	Rp 72,980.91	Rp 11,690,208,244.70
Angkutan termasuk muat bongkar rel R 54	79540	m'	Rp 9,709.60	Rp 772,301,539.46
Pemasangan bantalan beton lengkap degan alat penambat elastis	132567	set	Rp 30,731.65	Rp 4,074,002,642.10
Menyetel dan pemasangan rel R 54	79540	m'	Rp 193,168.87	Rp 15,364,651,834.22
Mengelas rel	3182	titik	Rp 1,733,624.94	Rp 5,516,394,565.44
Pasang dan stel wesel R 54	50	unit	Rp 21,843,876.31	Rp 1,092,193,815.50
Pembuatan saluran pembuangan	79540	m	Rp 30,014.18	Rp 2,387,327,961.11
Jumlah				Rp 983,543,636,897.60
PPN 10%				Rp 98,354,363,689.76
Total				Rp 1,081,898,000,587.36
Pembulatan				Rp 1,081,898,010,000.00

Terbilang : *Satu Trilyun Delapan Puluh Satu Milyar Delapan Ratus Sembilan Puluh Delapan Juta Sepuluh Ribu Rupiah*

DAFTAR PUSTAKA

- Fathoni, R., & Damardono, H. (2011, Mei 20). *Transportasi Massal, Panjang Rel 4.678 km*. Dipetik Januari 2015, dari Kompas.com:
regional.kompas.com/read/2011/05/20/08225641/Panjang.Rel.4.678.Km
- Inka. (2014). *Catatan Sejarah Perkeretaapian Indonesia di Tanah Madura*. Dipetik Januari 2015, dari Dipo Lokomotif Mojosari: www.dipomojosari.com/2014/01/catatan-sejarah-perkeretaapian.html?m=1
- kompas. (2011, mei 5). Dipetik 2015, dari bappeda.jatimprov.go.id/2011/05/05/china-bangun-pelabuhan-socah-dan-jalan-tembus/
- Kompas. (2011, Mei 5). *China Bangun Pelabuhan dan Jalan Tembus Socah*. Dipetik Januari 2015, dari bappeda jatim: bappeda.jatimprov.go.id/2011/05/05/china-bangun-pelabuhan-socah-dan-jalan-tembus/
- Pebiandi, Vicho. 2011. *Perencanaan Geometri Jalan Rel Kereta Api Trase Kota Pinang – Menggala pada Ruas Rantau Prapat – Duri II Propinsi Riau*. Tugas Akhir di Jurusan Teknik Sipil FTSP
- PJKA, 1986. *Perencanaan Konstruksi Jalan Rel (Peraturan Dinas No.10)*.
- PJKA, 1986. *Perencanaan Konstruksi Jalan Rel (Penjelasan Peraturan Dinas No.10)*.

- PM, 2011. *Persyaratan Teknis Bangunan Stasiun Kereta Api (PM No. 29 Tahun 2011)*
- PM, 2011. *Rencana Induk Perkeretaapian Nasional (PM No. 43 Tahun 2011)*
- PM, 2012. *Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api (PM No. 60 Tahun 2012)*
- PM, 2012. *Tata Cara Penetapan Trase Jalur Kereta Api (PM No. 11 Tahun 2012)*
- PM, 2014. *Standar Biaya Tahun 2014 di Lingkungan Kementerian Perhubungan (PM No. 75 Tahun 2013)*
- PP, 2009. *Penyelenggaraan Kereta Api (PP No. 56 Tahun 2009)*
- UU, 2007. *Perkeretaapian (UU No. 23 Tahun 2007)*
- Teguh, Dodik. 2013. *Desain Geometrik, Struktur beserta Perkiraan Biaya Perencanaan Jalan Rel Sebagai Alternatif Transportasi Angkutan Tambang di Kabupaten Lumajang*. Tugas Akhir di Jurusan Teknik Sipil FTSP ITS
- Wahyudi, H. 1985. *Jalan Kereta Api (Struktur dan Geometrik Jalan Rel)*. Surabaya: Jurusan Teknik Sipil-FTSP ITS
- Wahyudi, H. 1993. *Jalan Kereta Api (Struktur dan Geometrik Jalan Rel)*. Surabaya: Jurusan Teknik Sipil-FTSP ITS
- Wahyudi, H. 1997. *Teknik Reklamasi*. Surabaya: Jurusan Teknik Sipil-FTSP ITS

Zamachsari, Sar, & Kun. (2014, Agustus 21). *19 Desa di Sampang Masuk Daerah Tertinggal*. Dipetik Januari 2015, dari beritajatim.com:
beritajatim.com/politik_pemerintahan/215609/19_desa_di_sampang_masuk_daerah_tertinggal.html#.VY4J2aX-lwg

BAB VII

KESIMPULAN DAN SARAN

7.1. Kesimpulan

Dari hasil evaluasi, perhitungan perencanaan alan rel sebagaimana dijelaskan dalam bab sebelumnya, didapatkan rincian sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil analisa dengan kriteria pembebasan lahan, galian timbunan, sungai, dan lokasi komersia, dan panjang jalan rel didapatkan alternatif trase I dengan bobot tertinggi. Oleh karena itu, alternatif trase I dijadikan sebagai trase yang dipilih untuk perencanaan dengan panjang sekitar 67 km dan 11 sungai.
2. Struktur yang digunakan didapatkan sebagaimana berikut:
 - Rel yang digunakan adalah R 54
 - Passing ton tahunan : > 20 juta ton
 - Beban gandar : 18 ton
 - Lebar sepur : 1067 mm
 - Jarak bantalan beton : 60 cm
 - Lebar bahu balas : 30 cm
 - Tipe penambat : Pandrol (elastik ganda)
 - Sambungan : las ditempat
 - Tebal balas atas : 30 cm
 - Tebal balas bawah (subbalas) : 40 cm
3. Biaya yang dibutuhkan dalam pembangunan jalan rel ini adalah sebesar Rp 1.081.898.010.000,-.

7.2. Saran

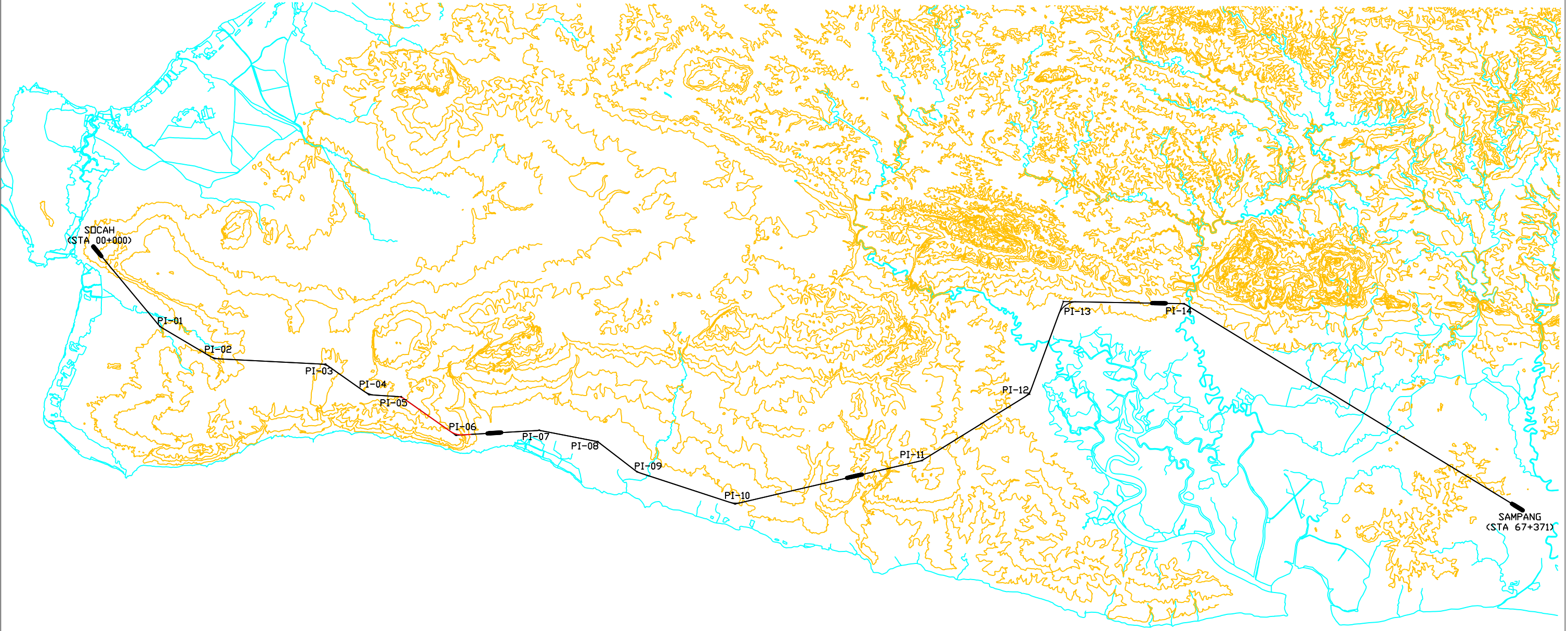
Demi kesempurnaan dari penulisan laporan Tugas Akhir ini, penulis mencoba memberikan saran-saran yang bersifat membangun untuk kesempurnaan Tugas Akhir kedepannya. Adapun saran-saran tersebut sebagaimana berikut:

1. Penentuan kecepatan rencana hendaknya disesuaikan dengan peraturan yang berlaku karena mempengaruhi hasil perencanaan.
2. Untuk alinyemen vertikal, sebaiknya memperhatikan bentuk kontur untuk mengurangi volume galian dan timbunan yang besar.
3. Dalam pemilihan trase hendaknya seminimal mungkin melalui daerah pemukiman.

LAMPIRAN A-TABEL LENGKUNG VERTIKAL

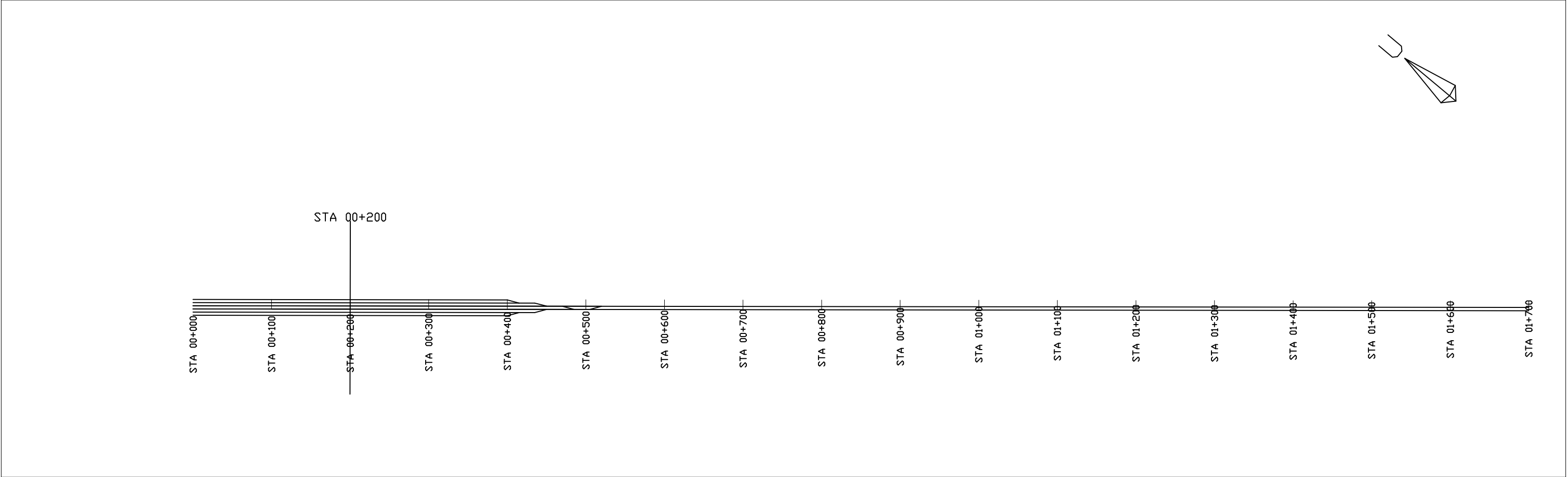
STA	g1 (e kiri)	g2 (e kanan)	Di	V (km/jam)	R (m)	Xm (m)	Ym (m)	Stasioning					
								PPV (Pusat Perpotongan Vertikal)		PLV (Peralihan Lengkung Vertikal)		PTV (Peralihan Tangen Vertikal)	
								STA	Elevasi	STA	Elevasi	STA	Elevasi
001 + 000	0.240	0.230	-0.010	120	8000	40.000	0.100	001 + 000	23.000	000 + 960	23.100	001 + 40	22.900
002 + 200	0.120	0.110	-0.010	120	8000	40.000	0.100	002 + 200	11.000	002 + 160	11.100	002 + 240	10.900
004 + 400	0.110	0.120	0.010	120	8000	40.000	0.100	004 + 400	12.000	004 + 360	12.100	004 + 440	11.900
005 + 700	0.240	0.250	0.010	120	8000	40.000	0.100	005 + 700	25.000	005 + 660	25.100	005 + 740	24.900
006 + 900	0.250	0.260	0.010	120	8000	40.000	0.100	006 + 900	26.000	006 + 860	26.100	006 + 940	25.900
008 + 000	0.360	0.370	0.010	120	8000	40.000	0.100	008 + 000	37.000	007 + 960	37.100	008 + 40	36.900
008 + 100	0.370	0.375	0.005	120	8000	20.000	0.025	008 + 100	37.500	008 + 80	37.525	008 + 120	37.475
011 + 900	0.375	0.380	0.005	120	8000	20.000	0.025	011 + 900	38.000	011 + 880	38.025	011 + 920	37.975
012 + 000	0.380	0.390	0.010	120	8000	40.000	0.100	012 + 000	39.000	011 + 960	39.100	012 + 40	38.900
012 + 400	0.420	0.430	0.010	120	8000	40.000	0.100	012 + 400	43.000	012 + 360	43.100	012 + 440	42.900
013 + 000	0.430	0.440	0.010	120	8000	40.000	0.100	013 + 000	44.000	012 + 960	44.100	013 + 40	43.900
013 + 300	0.460	0.470	0.010	120	8000	40.000	0.100	013 + 300	47.000	013 + 260	47.100	013 + 340	46.900
014 + 600	0.470	0.480	0.010	120	8000	40.000	0.100	014 + 600	48.000	014 + 560	48.100	014 + 640	47.900
015 + 000	0.480	0.470	-0.010	120	8000	40.000	0.100	015 + 000	47.000	014 + 960	47.100	015 + 40	46.900
019 + 100	0.070	0.060	-0.010	120	8000	40.000	0.100	019 + 100	6.000	019 + 60	6.100	019 + 140	5.900
022 + 300	0.060	0.070	0.010	120	8000	40.000	0.100	022 + 300	7.000	022 + 260	7.100	022 + 340	6.900
023 + 800	0.070	0.060	-0.010	120	8000	40.000	0.100	023 + 800	6.000	023 + 760	6.100	023 + 840	5.900
025 + 800	0.060	0.070	0.010	120	8000	40.000	0.100	025 + 800	7.000	025 + 760	7.100	025 + 840	6.900
028 + 700	0.070	0.080	0.010	120	8000	40.000	0.100	028 + 700	8.000	028 + 660	8.100	028 + 740	7.900
029 + 300	0.080	0.090	0.010	120	8000	40.000	0.100	029 + 300	9.000	029 + 260	9.100	029 + 340	8.900
029 + 500	0.100	0.110	0.010	120	8000	40.000	0.100	029 + 500	11.000	029 + 460	11.100	029 + 540	10.900
029 + 800	0.110	0.120	0.010	120	8000	40.000	0.100	029 + 800	12.000	029 + 760	12.100	029 + 840	11.900
031 + 900	0.320	0.330	0.010	120	8000	40.000	0.100	031 + 900	33.000	031 + 860	33.100	031 + 940	32.900
032 + 300	0.330	0.340	0.010	120	8000	40.000	0.100	032 + 300	34.000	032 + 260	34.100	032 + 340	33.900
033 + 300	0.340	0.350	0.010	120	8000	40.000	0.100	033 + 300	35.000	033 + 260	35.100	033 + 340	34.900

034 + 100	0.420	0.430	0.010	120	8000	40.000	0.100	034 + 100	43.000	034 + 60	43.100	034 + 140	42.900
035 + 000	0.430	0.420	-0.010	120	8000	40.000	0.100	035 + 000	42.000	034 + 960	42.100	035 + 40	41.900
035 + 400	0.390	0.380	-0.010	120	8000	40.000	0.100	035 + 400	38.000	035 + 360	38.100	035 + 440	37.900
035 + 900	0.380	0.390	0.010	120	8000	40.000	0.100	035 + 900	39.000	035 + 860	39.100	035 + 940	38.900
036 + 300	0.420	0.430	0.010	120	8000	40.000	0.100	036 + 300	43.000	036 + 260	43.100	036 + 340	42.900
036 + 700	0.430	0.440	0.010	120	8000	40.000	0.100	036 + 700	44.000	036 + 660	44.100	036 + 740	43.900
037 + 300	0.440	0.430	-0.010	120	8000	40.000	0.100	037 + 300	43.000	037 + 260	43.100	037 + 340	42.900
040 + 300	0.140	0.130	-0.010	120	8000	40.000	0.100	040 + 300	13.000	040 + 260	13.100	040 + 340	12.900
041 + 000	0.130	0.125	-0.005	120	8000	20.000	0.025	041 + 000	12.500	040 + 980	12.525	041 + 20	12.475
042 + 500	0.125	0.120	-0.005	120	8000	20.000	0.025	042 + 500	12.000	042 + 480	12.025	042 + 520	11.975
042 + 600	0.120	0.110	-0.010	120	8000	40.000	0.100	042 + 600	11.000	042 + 560	11.100	042 + 640	10.900
046 + 400	0.110	0.120	0.010	120	8000	40.000	0.100	046 + 400	12.000	046 + 360	12.100	046 + 440	11.900
047 + 100	0.180	0.190	0.010	120	8000	40.000	0.100	047 + 100	19.000	047 + 60	19.100	047 + 140	18.900
048 + 400	0.190	0.200	0.010	120	8000	40.000	0.100	048 + 400	20.000	048 + 360	20.100	048 + 440	19.900
048 + 600	0.210	0.220	0.010	120	8000	40.000	0.100	048 + 600	22.000	048 + 560	22.100	048 + 640	21.900
050 + 600	0.220	0.210	-0.010	120	8000	40.000	0.100	050 + 600	21.000	050 + 560	21.100	050 + 640	20.900
051 + 600	0.120	0.110	-0.010	120	8000	40.000	0.100	051 + 600	11.000	051 + 560	11.100	051 + 640	10.900
058 + 000	0.110	0.115	0.005	120	8000	20.000	0.025	058 + 000	11.500	057 + 980	11.525	058 + 20	11.475
058 + 100	0.115	0.125	0.010	120	8000	40.000	0.100	058 + 100	12.500	058 + 60	12.600	058 + 140	12.400
066 + 500	0.125	0.115	-0.010	120	8000	40.000	0.100	066 + 500	11.500	066 + 460	11.600	066 + 540	11.400
066 + 900	0.085	0.075	-0.010	120	8000	40.000	0.100	066 + 900	7.500	066 + 860	7.600	066 + 940	7.400

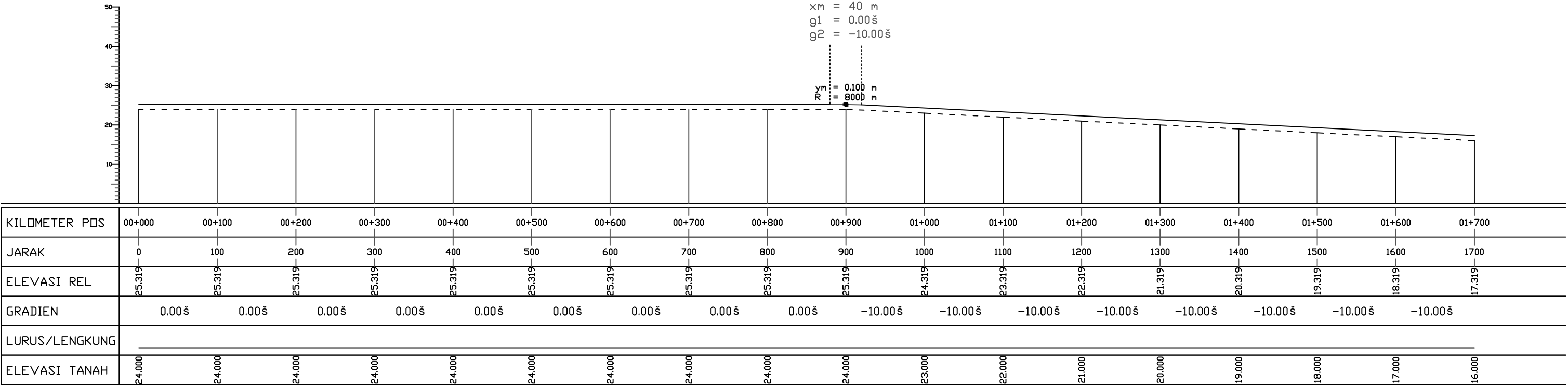


- KONTUR
- GARIS PANTAI, SUNGAI, DANAU
- TEROWONGAN
- TRASE JALAN REL
- EMPLASEMEN STASIUN

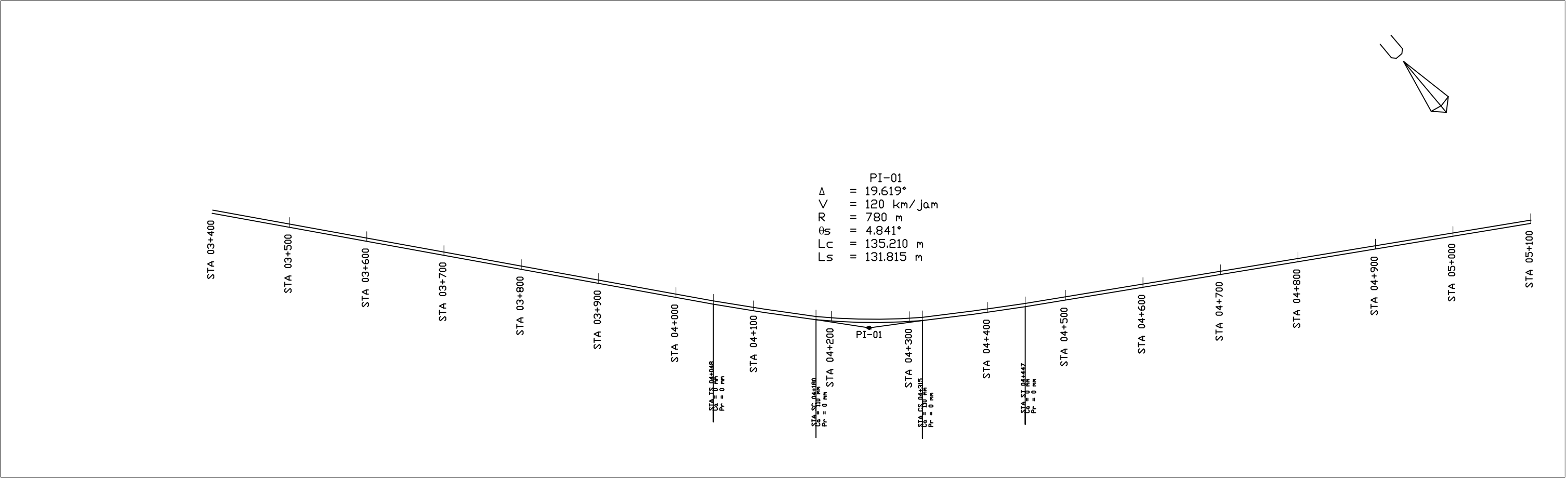
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN JURUSAN TEKNIK SIPIL	JUDUL TUGAS AKHIR	DOSEN PEMBIMBING	MAHASISWA		JUDUL GAMBAR	UKURAN	LEMBAR	JML LEMBAR	SKALA
	PERENCANAAN TRASE JALAN KERETA API	BUDI RAHARDJO, ST,MT	SHARA HAZUBI	3111100092	PLAN AND PROFIL JALUR KERETA API	A3			H = 1:500 V = 1:100



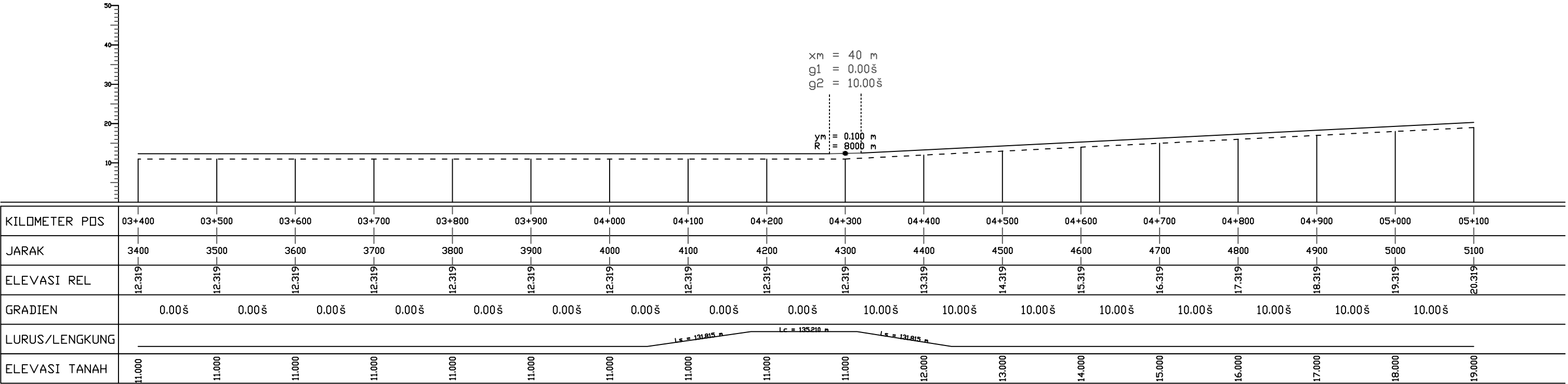
----- ELEVASI TANAH ASLI
———— ELEVASI JALAN REL



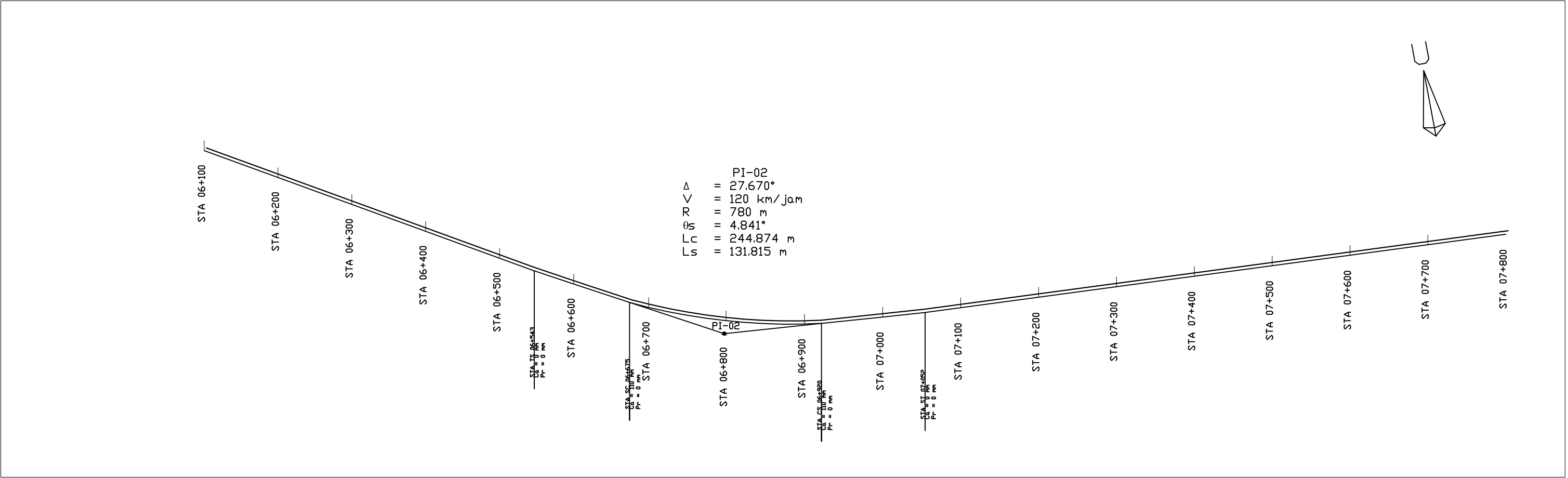
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN JURUSAN TEKNIK SIPIL	JUDUL TUGAS AKHIR	DOSEN PEMBIMBING	MAHASISWA		JUDUL GAMBAR	UKURAN	LEMBAR	JML LEMBAR	SKALA
	PERENCANAAN TRASE JALAN KERETA API	BUDI RAHARDJO, ST,MT	SHARA HAZUBI	3111100092	PLAN AND PROFIL JALUR KERETA API	A3			H = 1:500 V = 1:100



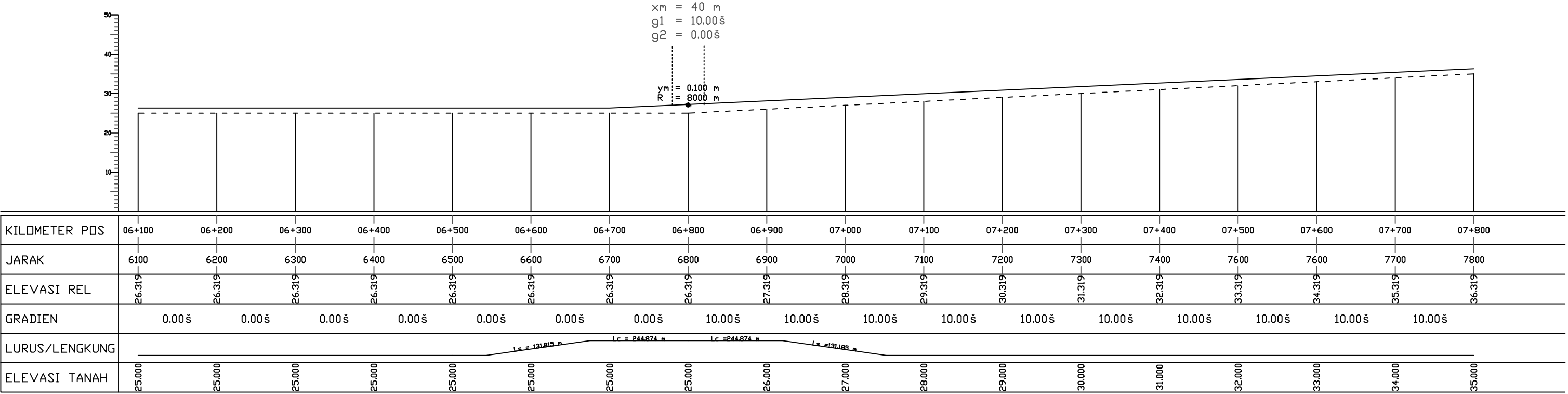
----- ELEVASI TANAH ASLI
———— ELEVASI JALAN REL



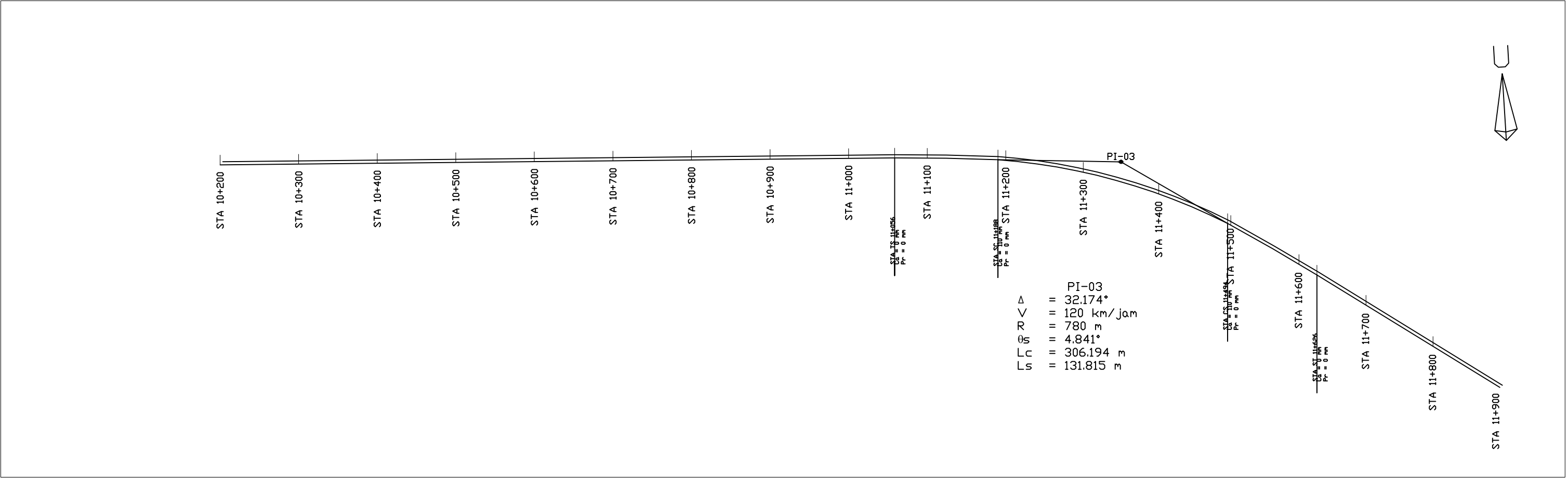
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN JURUSAN TEKNIK SIPIL	JUDUL TUGAS AKHIR	DJSEN PEMBIMBING	MAHASISWA		JUDUL GAMBAR	UKURAN	LEMBAR	JML LEMBAR	SKALA
	PERENCANAAN TRASE JALAN KERETA API	BUDI RAHARDJO, ST,MT	SHARA HAZUBI	3111100092	PLAN AND PROFIL JALUR KERETA API	A3			H = 1:500 V = 1:100



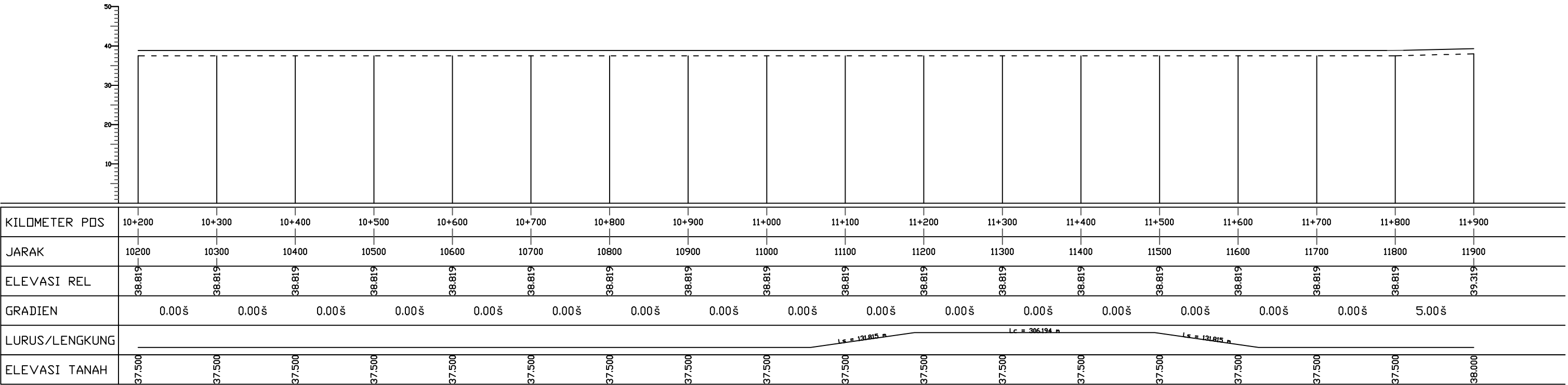
----- ELEVASI TANAH ASLI
———— ELEVASI JALAN REL



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN JURUSAN TEKNIK SIPIL	JUDUL TUGAS AKHIR	DOSEN PEMBIMBING	MAHASISWA		JUDUL GAMBAR	UKURAN	LEMBAR	JML LEMBAR	SKALA
	PERENCANAAN TRASE JALAN KERETA API	BUDI RAHARDJO, ST,MT	SHARA HAZUBI	3111100092	PLAN AND PROFIL JALUR KERETA API	A3			H = 1:500 V = 1:100



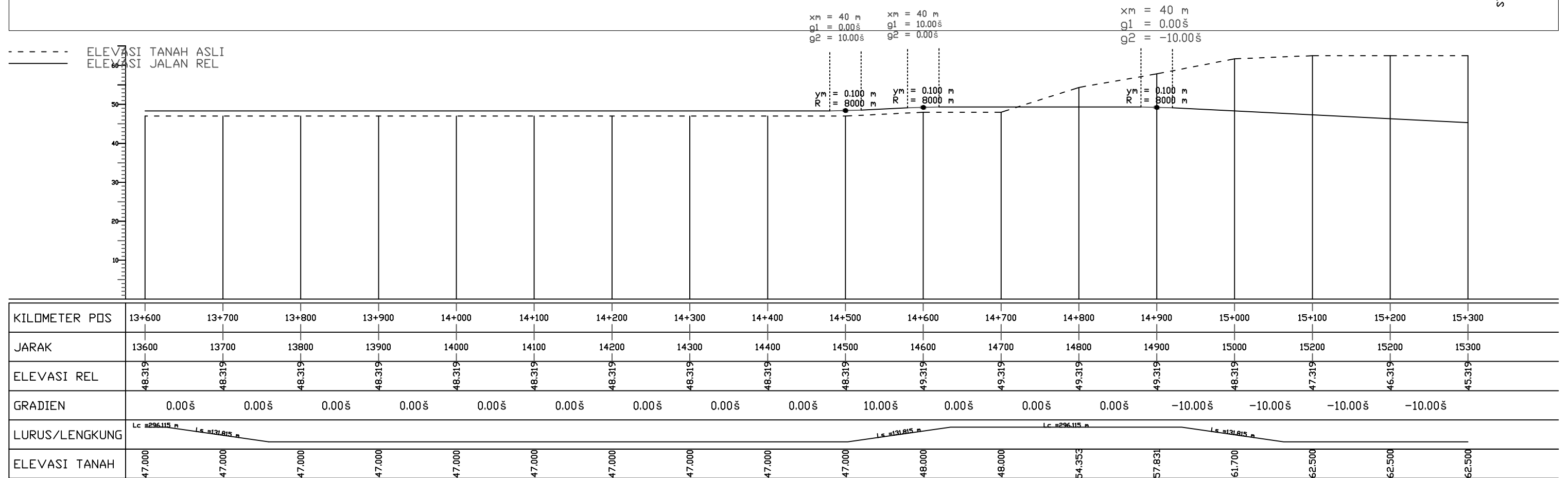
----- ELEVASI TANAH ASLI
———— ELEVASI JALAN REL



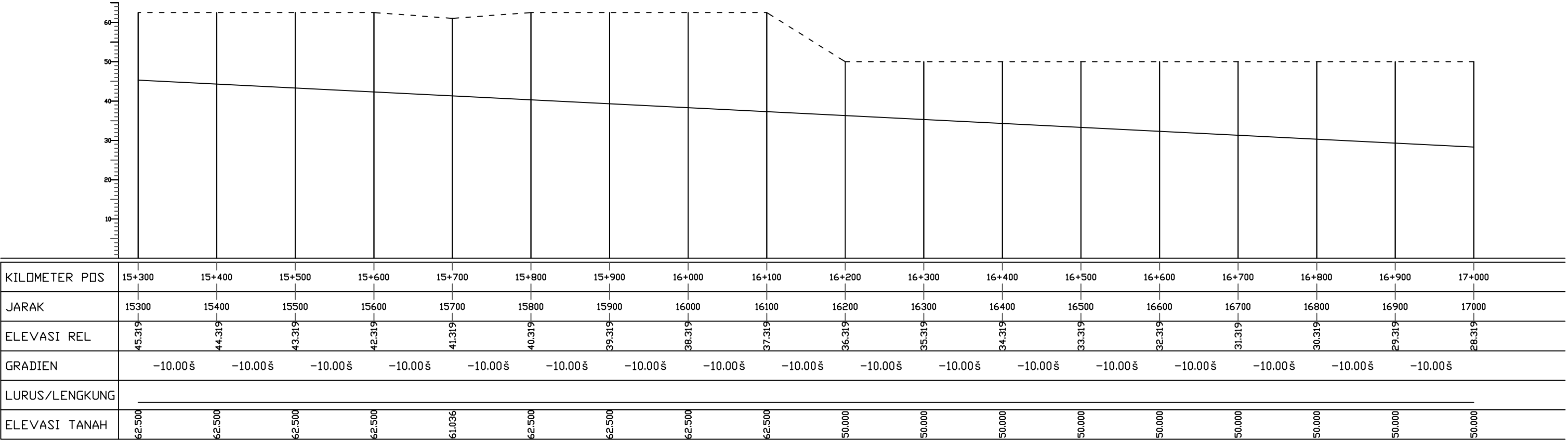
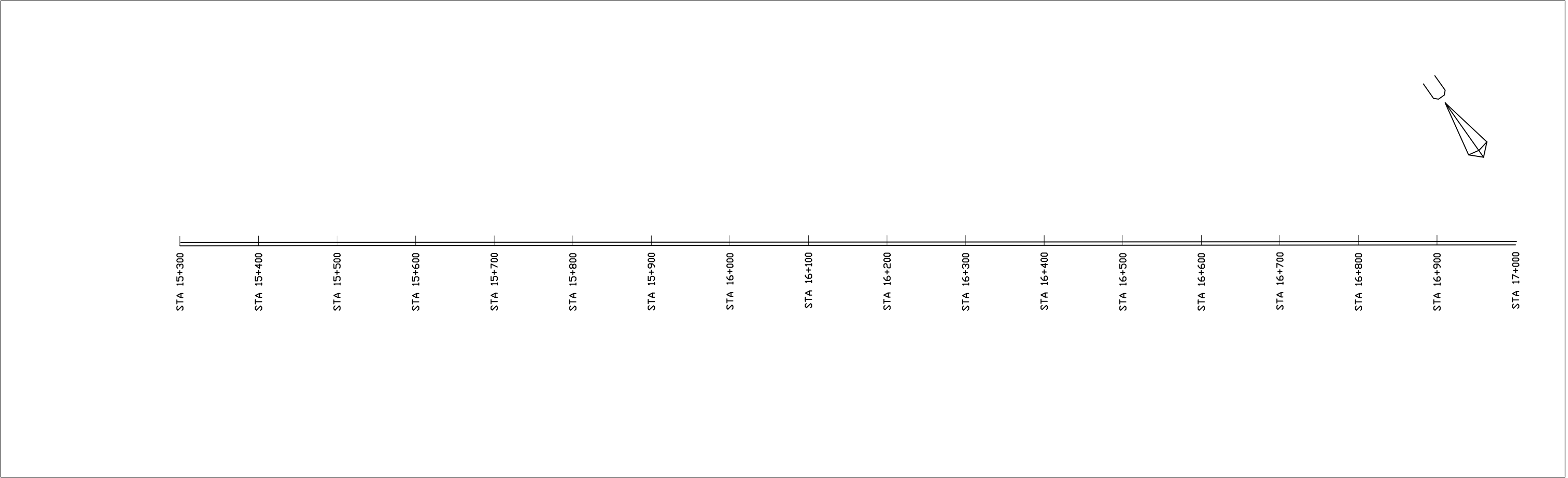
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN JURUSAN TEKNIK SIPIL	JUDUL TUGAS AKHIR	Dosen PEMBIMBING	MAHASISWA		JUDUL GAMBAR	UKURAN	LEMBAR	JML LEMBAR	SKALA
	PERENCANAAN TRASE JALAN KERETA API	BUDI RAHARDJO, ST,MT	SHARA HAZUBI	3111100092	PLAN AND PROFIL JALUR KERETA API	A3			H = 1:500 V = 1:100

PI-04
Δ = 31.434°
V = 120 km/jam
R = 780 m
θs = 4.841°
Lc = 296.115 m
Ls = 131.815 m

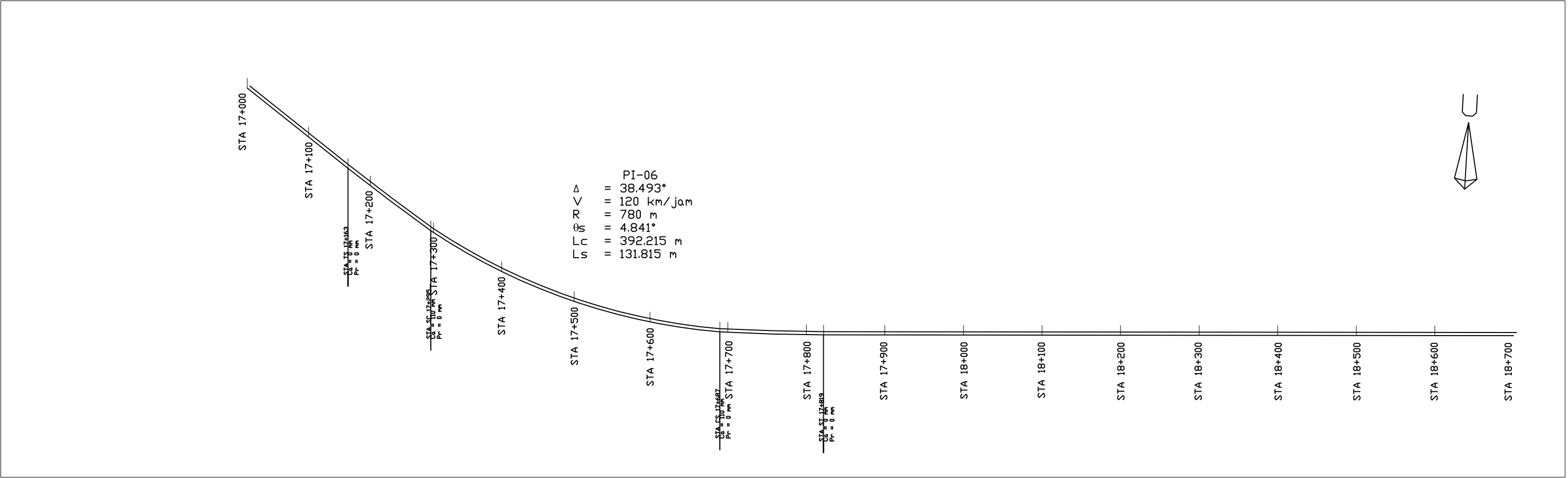
PI-05
Δ = 31.478°
V = 120 km/jam
R = 780 m
θs = 4.841°
Lc = 269.708 m
Ls = 131.815 m



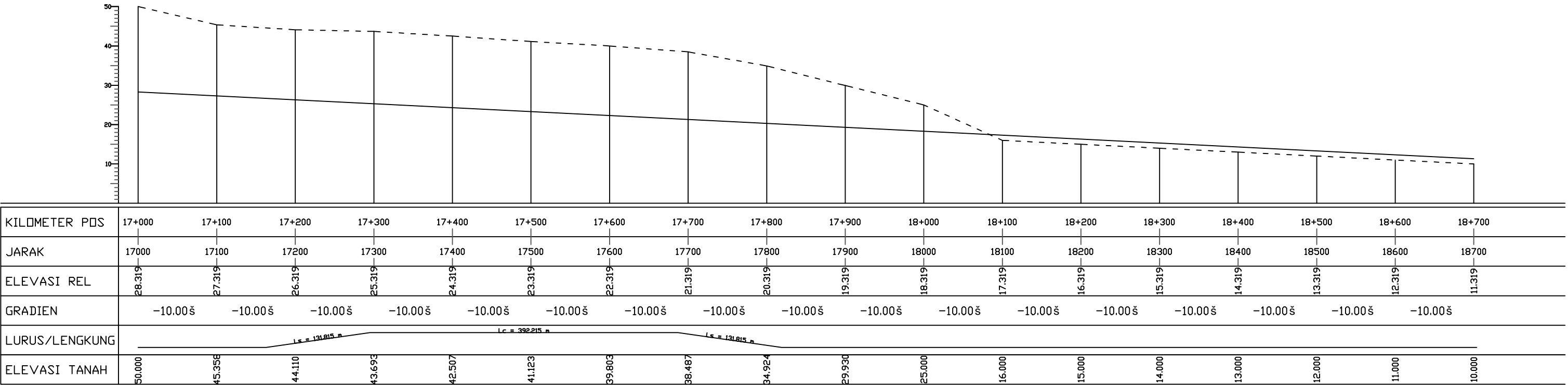
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN JURUSAN TEKNIK SIPIL	JUDUL TUGAS AKHIR	DOSEN PEMBIMBING	MAHASISWA		JUDUL GAMBAR	UKURAN	LEMBAR	JML LEMBAR	SKALA
	PERENCANAAN TRASE JALAN KERETA API	BUDI RAHARDJO, ST,MT	SHARA HAZUBI	3111100092	PLAN AND PROFIL JALUR KERETA API	A3			H = 1:500 V = 1:100



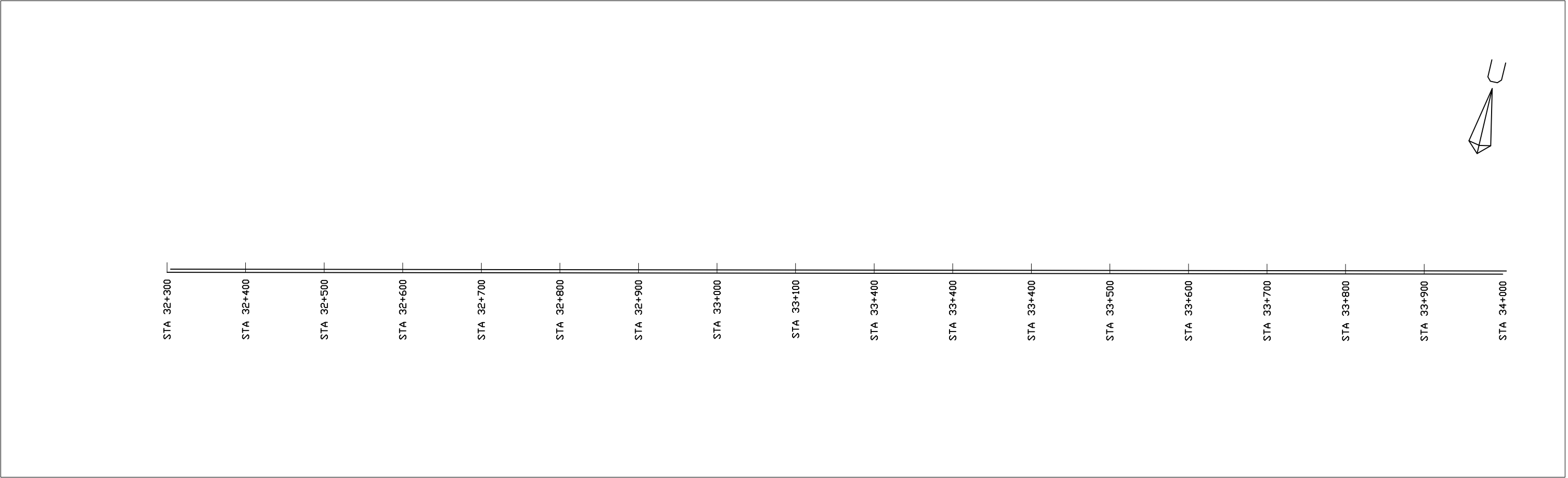
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN JURUSAN TEKNIK SIPIL	JUDUL TUGAS AKHIR	DJSEN PEMBIMBING	MAHASISWA		JUDUL GAMBAR	UKURAN	LEMBAR	JML LEMBAR	SKALA
	PERENCANAAN TRASE JALAN KERETA API	BUDI RAHARDJO, ST,MT	SHARA HAZUBI	3111100092	PLAN AND PROFIL JALUR KERETA API	A3	10	40	H = 1:500 V = 1:100



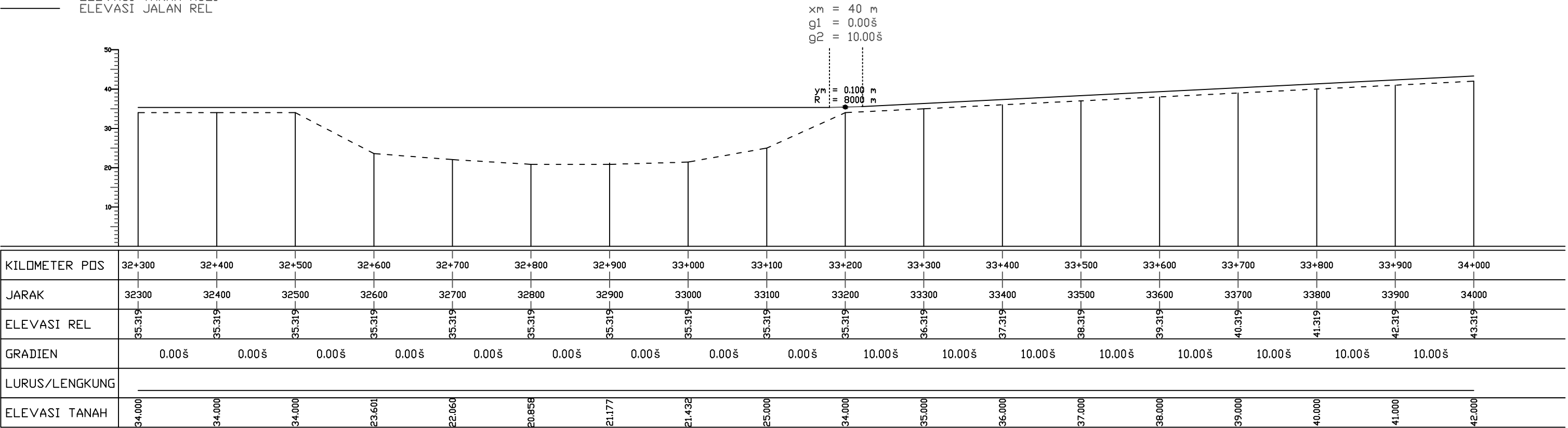
----- ELEVASI TANAH ASLI
———— ELEVASI JALAN REL



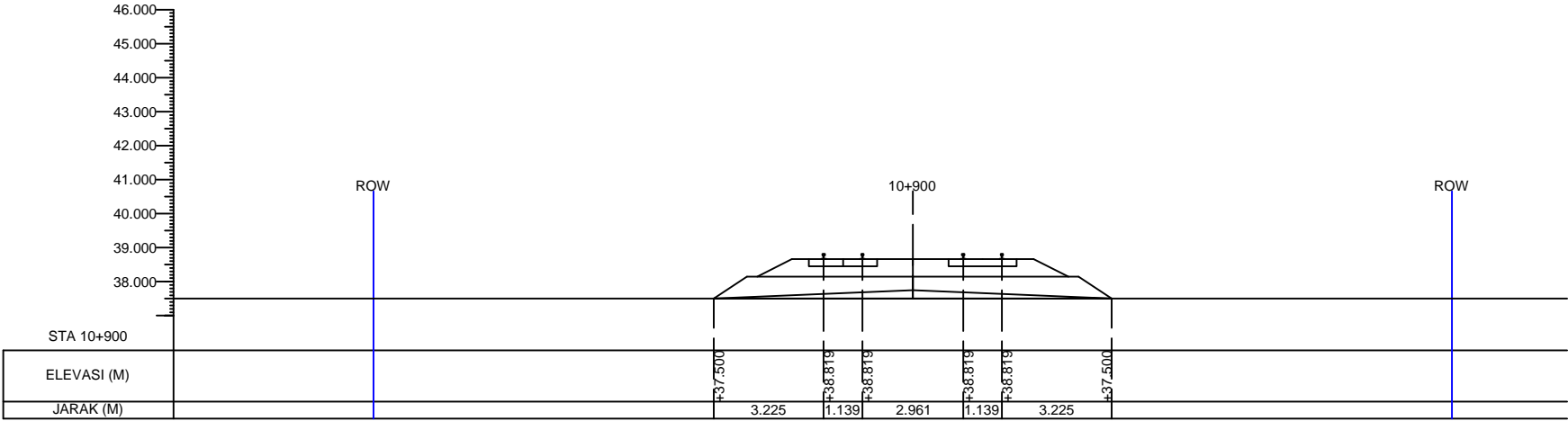
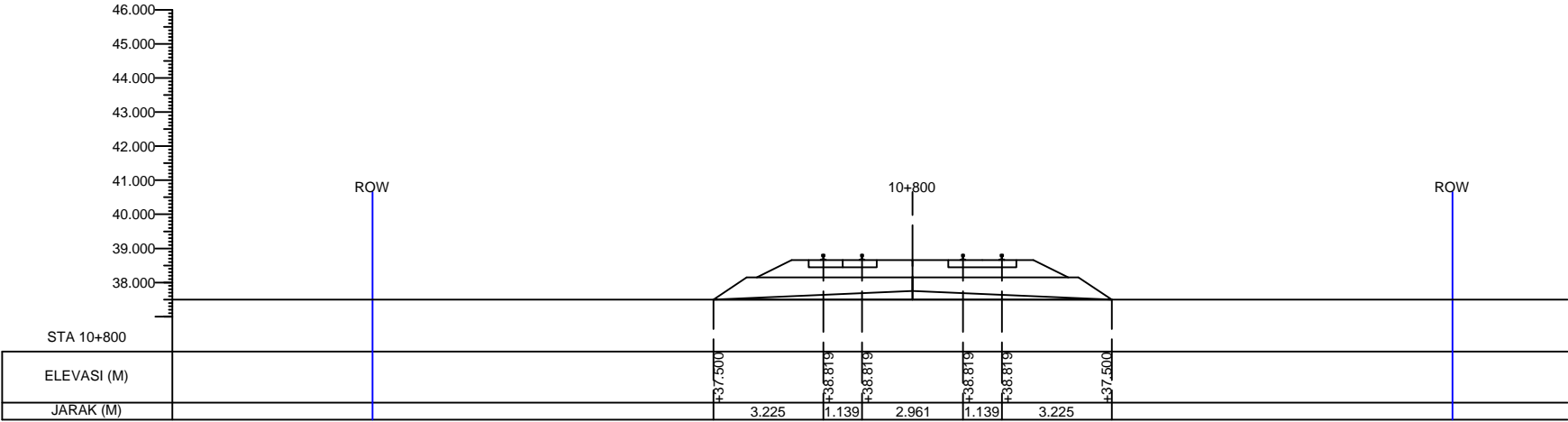
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN JURUSAN TEKNIK SIPIL	JUDUL TUGAS AKHIR	DOSEN PEMBIMBING	MAHASISWA		JUDUL GAMBAR	UKURAN	LEMBAR	JML LEMBAR	SKALA
	PERENCANAAN TRASE JALAN KERETA API	BUDI RAHARDJO, ST,MT	SHARA HAZUBI	3111100092	PLAN AND PROFIL JALUR KERETA API	A3			H = 1:500 V = 1:100



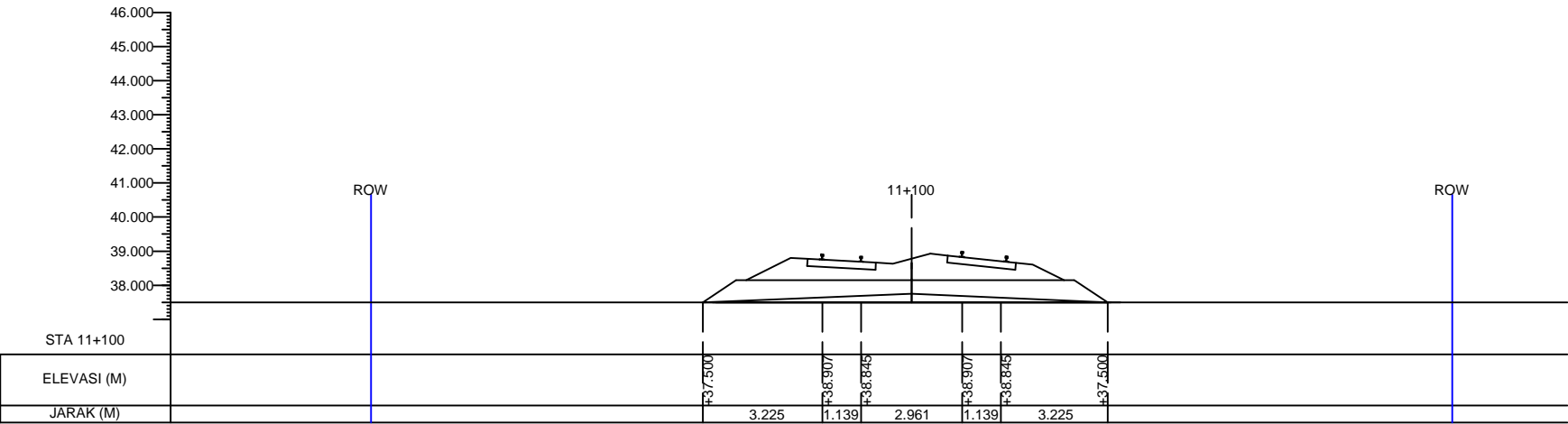
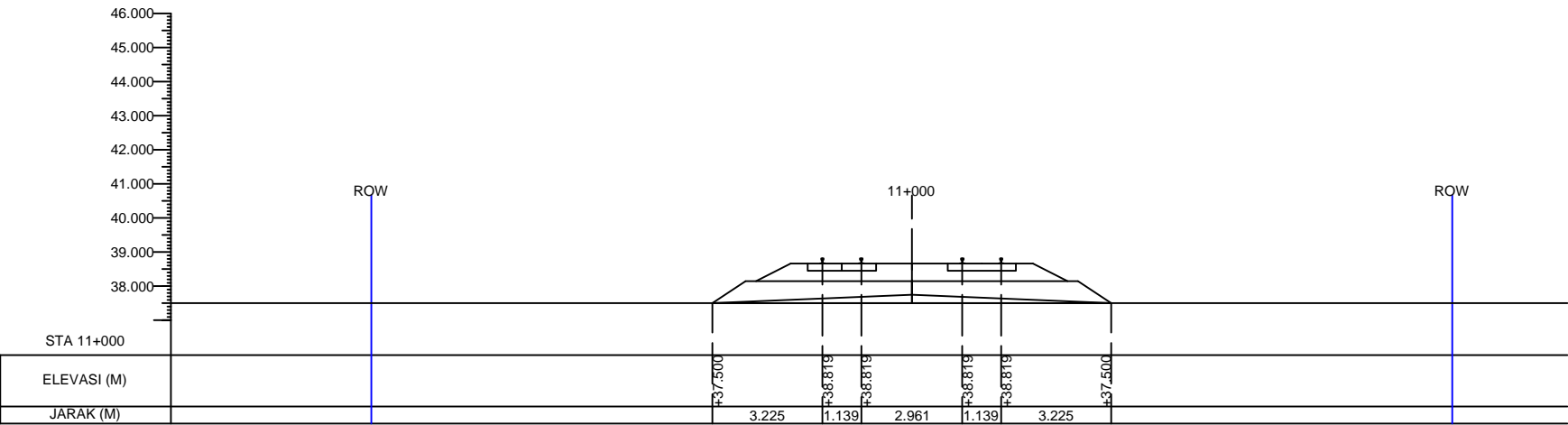
----- ELEVASI TANAH ASLI
———— ELEVASI JALAN REL



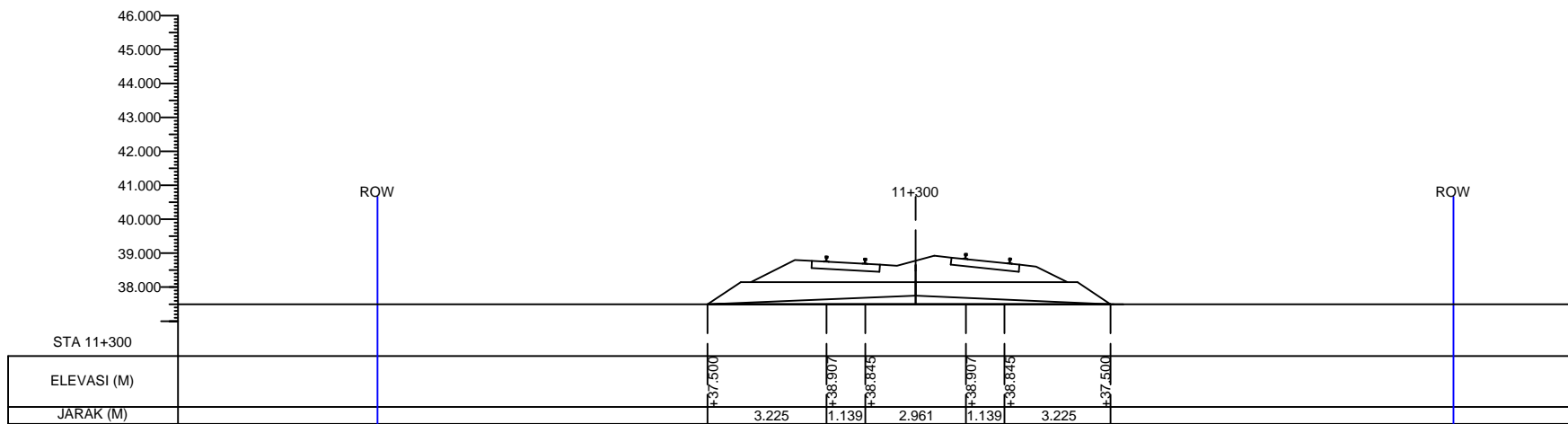
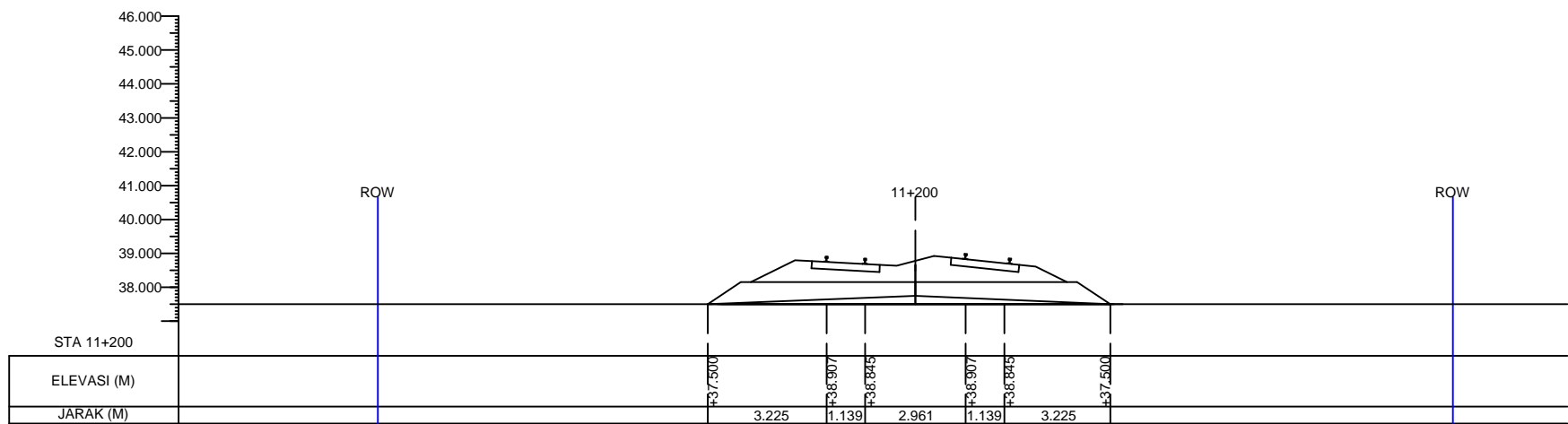
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN JURUSAN TEKNIK SIPIL	JUDUL TUGAS AKHIR	DOSEN PEMBIMBING	MAHASISWA		JUDUL GAMBAR	UKURAN	LEMBAR	JML LEMBAR	SKALA
	PERENCANAAN TRASE JALAN KERETA API	BUDI RAHARDJO, ST,MT	SHARA HAZUBI	3111100092	PLAN AND PROFIL JALUR KERETA API	A3			H = 1:500 V = 1:100



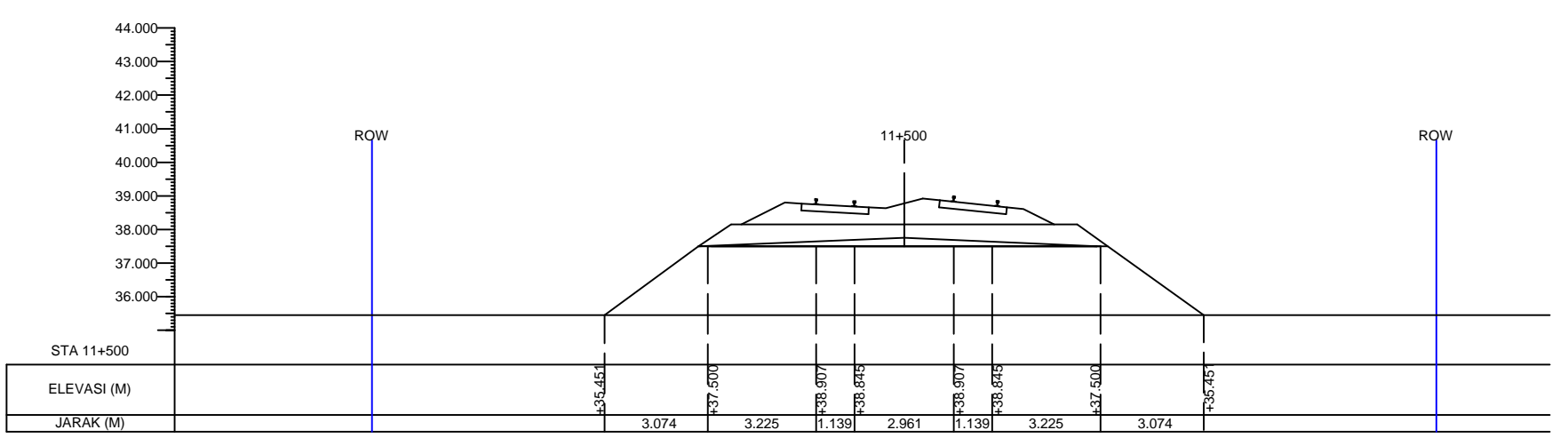
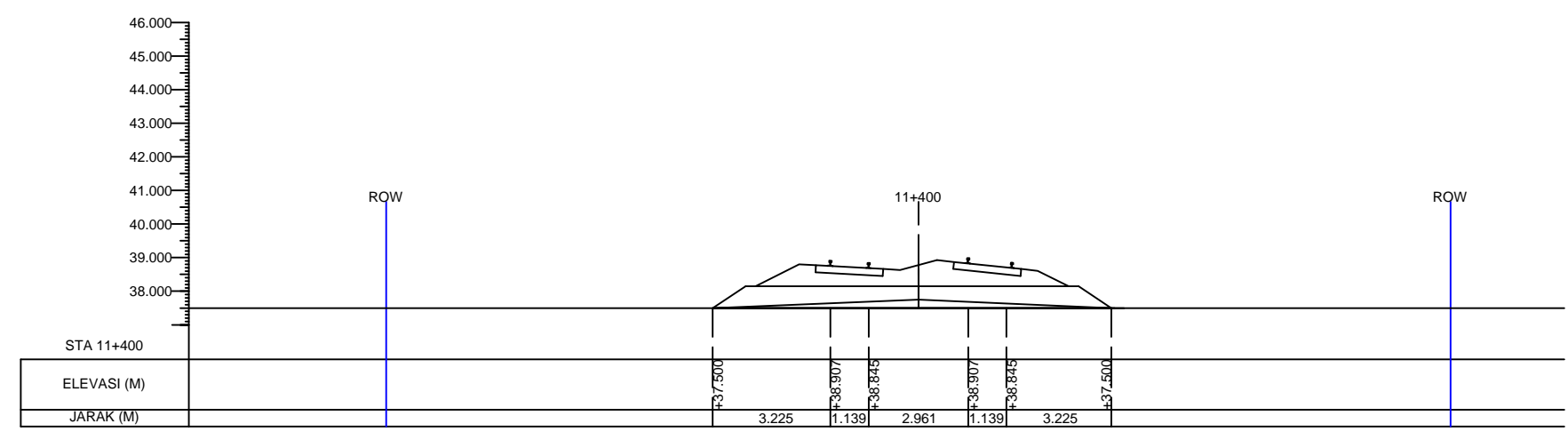
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN JURUSAN TEKNIK SIPIL	JUDUL TUGAS AKHIR PERENCANAAN TRASE JALAN KERETA API	DOSEN PEMBIMBING BUDI RAHARDJO, ST,MT	MAHASISWA SHARA HAZUBI 3111100092		JUDUL GAMBAR POTONGAN MELINTANG BADAN JALAN	UKURAN A4	LEMBAR	JML LEMBAR	SKALA 1:200
--	---	--	---	--	--	--------------	--------	------------	----------------



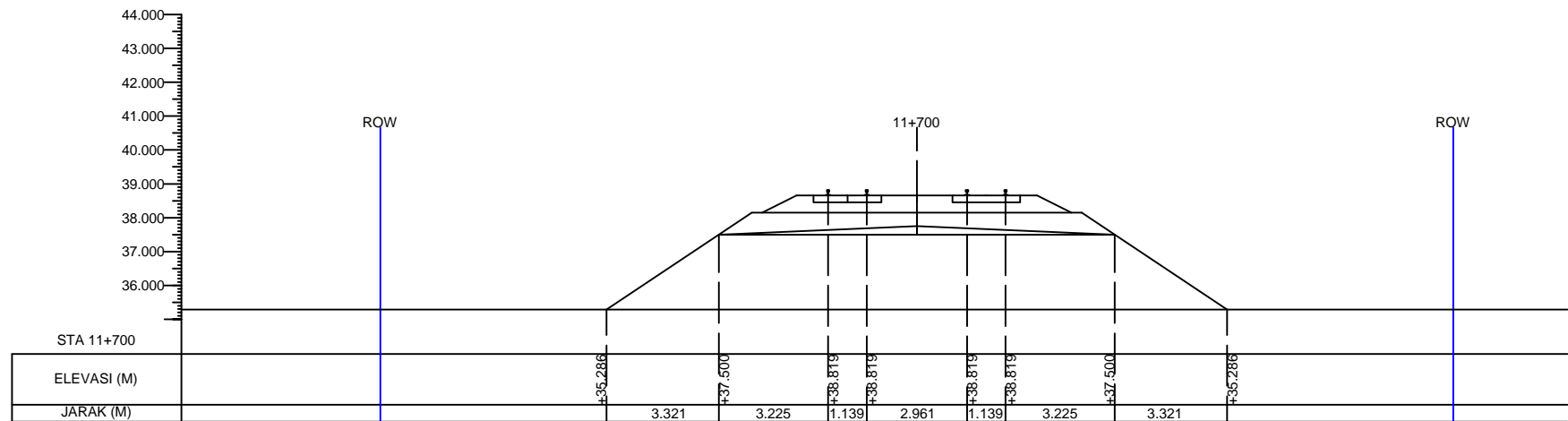
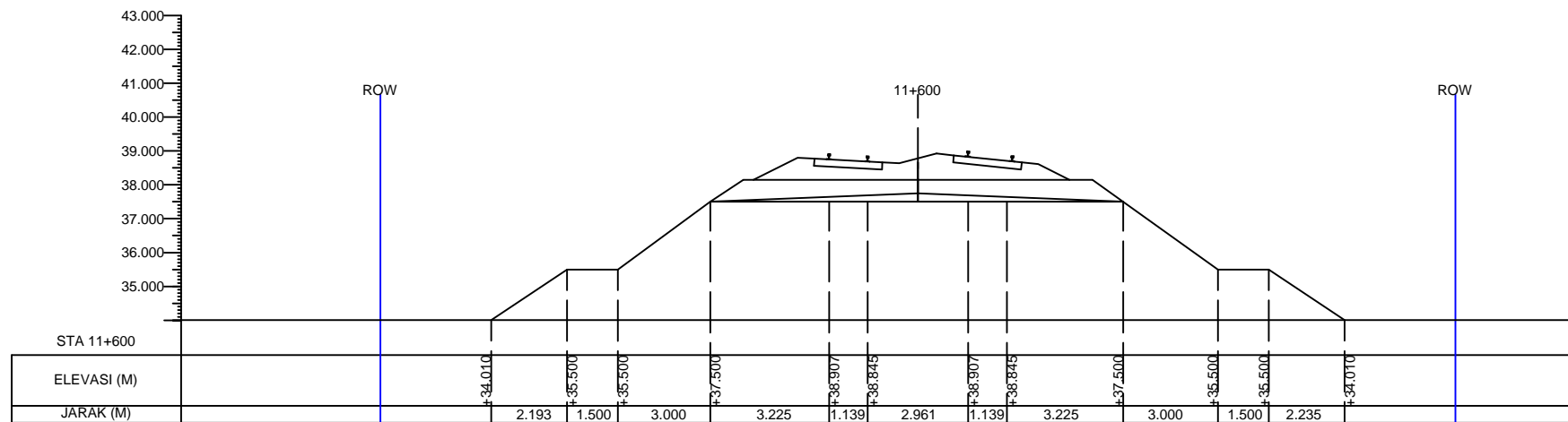
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN JURUSAN TEKNIK SIPIL	JUDUL TUGAS AKHIR	DOSEN PEMBIMBING	MAHASISWA		JUDUL GAMBAR	UKURAN	LEMBAR	JML LEMBAR	SKALA
	PERENCANAAN TRASE JALAN KERETA API	BUDI RAHARDJO, ST,MT	SHARA HAZUBI	3111100092	POTONGAN MELINTANG BADAN JALAN	A4			1:200



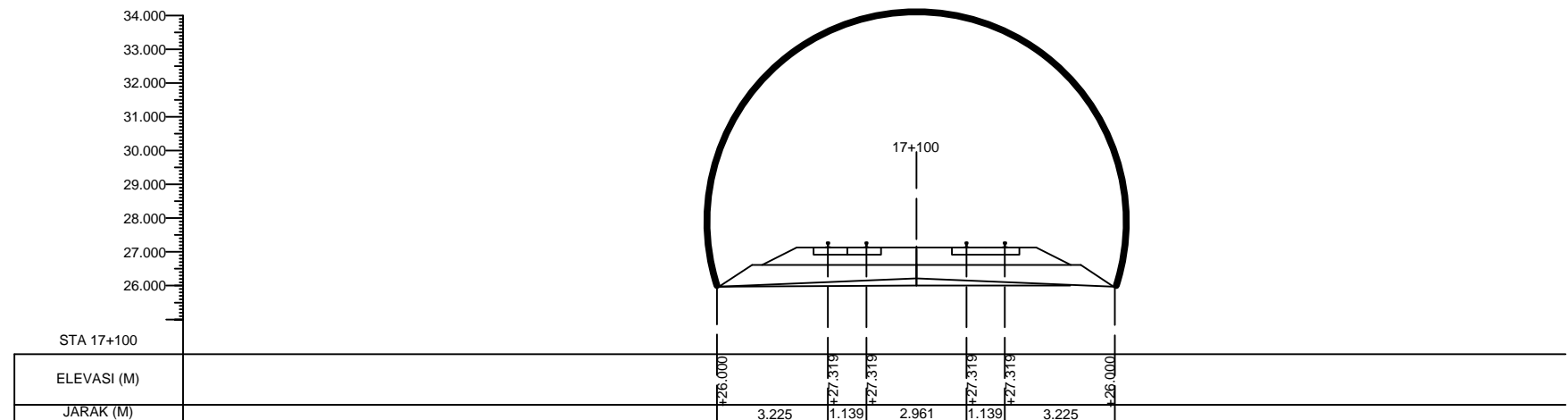
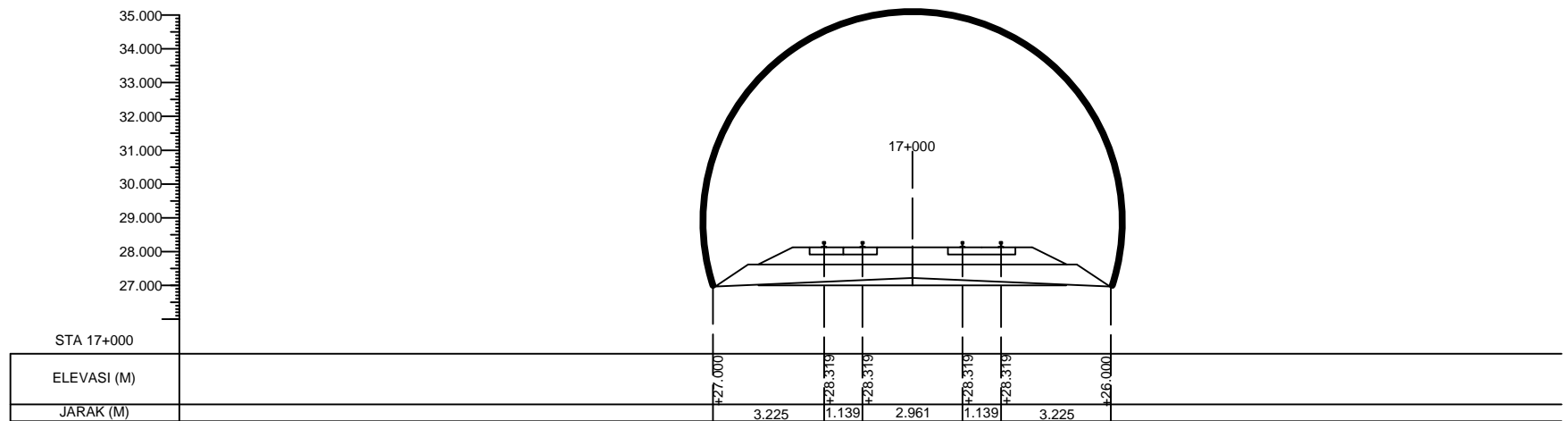
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN JURUSAN TEKNIK SIPIL	JUDUL TUGAS AKHIR	DOSEN PEMBIMBING	MAHASISWA		JUDUL GAMBAR	UKURAN	LEMBAR	JML LEMBAR	SKALA
	PERENCANAAN TRASE JALAN KERETA API	BUDI RAHARDJO, ST,MT	SHARA HAZUBI	3111100092	POTONGAN MELINTANG BADAN JALAN	A4			1:200



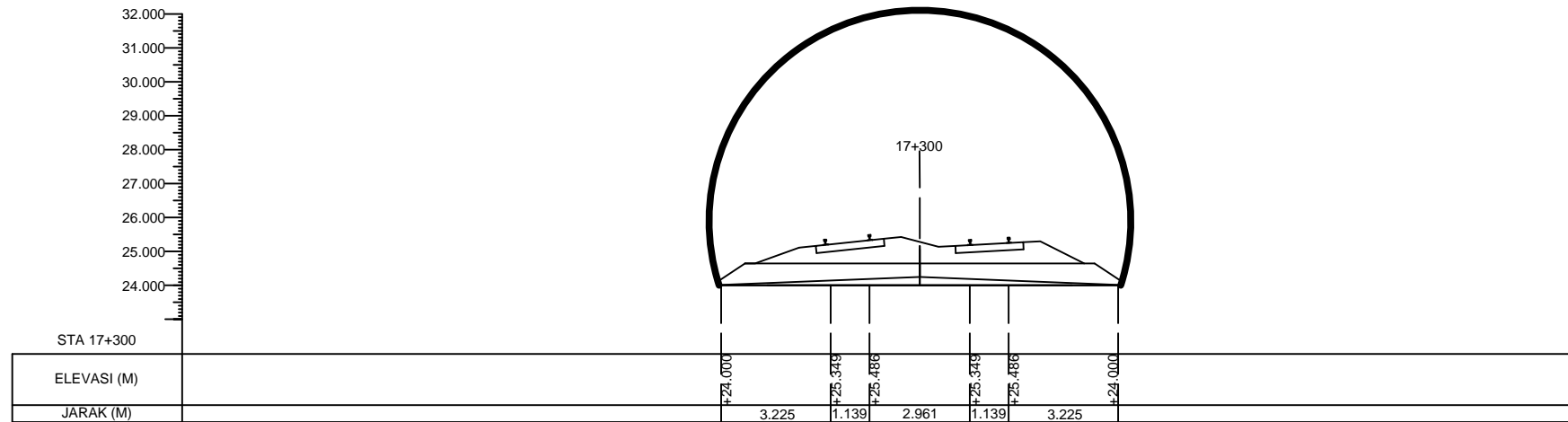
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN JURUSAN TEKNIK SIPIL	JUDUL TUGAS AKHIR PERENCANAAN TRASE JALAN KERETA API	DOSEN PEMBIMBING BUDI RAHARDJO, ST,MT	MAHASISWA SHARA HAZUBI 3111100092		JUDUL GAMBAR POTONGAN MELINTANG BADAN JALAN	UKURAN A4	LEMBAR	JML LEMBAR	SKALA 1:200
--	---	--	---	--	--	--------------	--------	------------	----------------



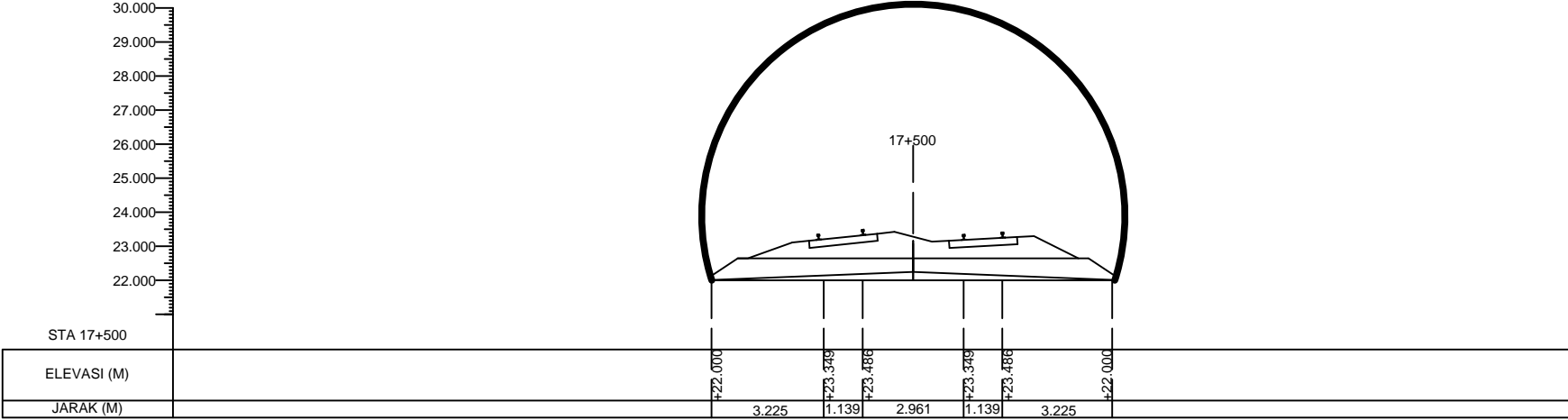
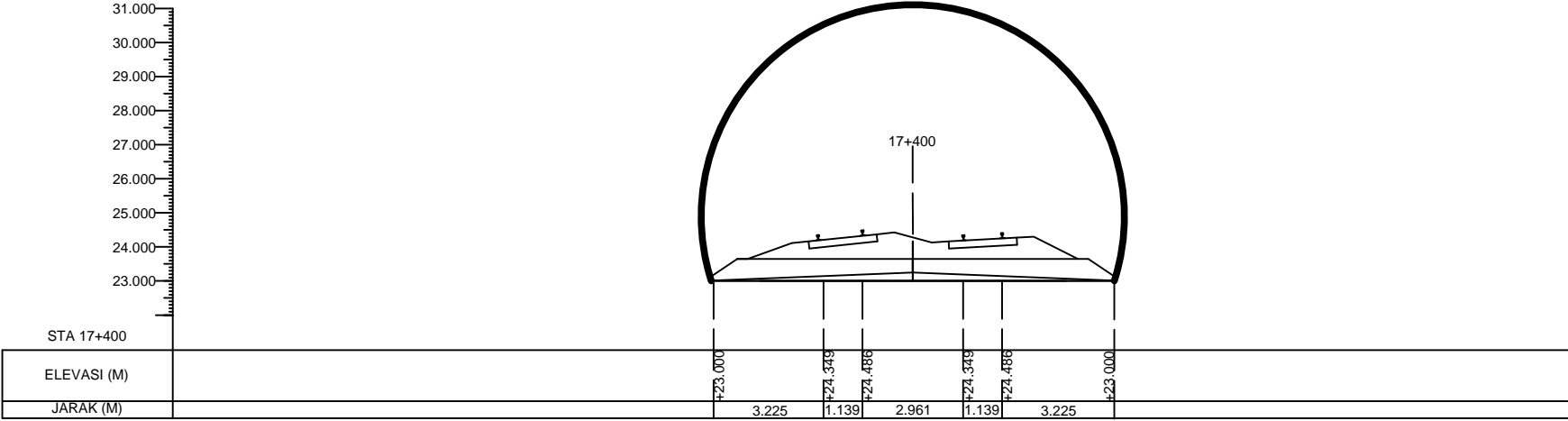
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN JURUSAN TEKNIK SIPIL	JUDUL TUGAS AKHIR	DOSEN PEMBIMBING	MAHASISWA		JUDUL GAMBAR	UKURAN	LEMBAR	JML LEMBAR	SKALA
	PERENCANAAN TRASE JALAN KERETA API	BUDI RAHARDJO, ST,MT	SHARA HAZUBI	3111100092	POTONGAN MELINTANG BADAN JALAN	A4			1:200



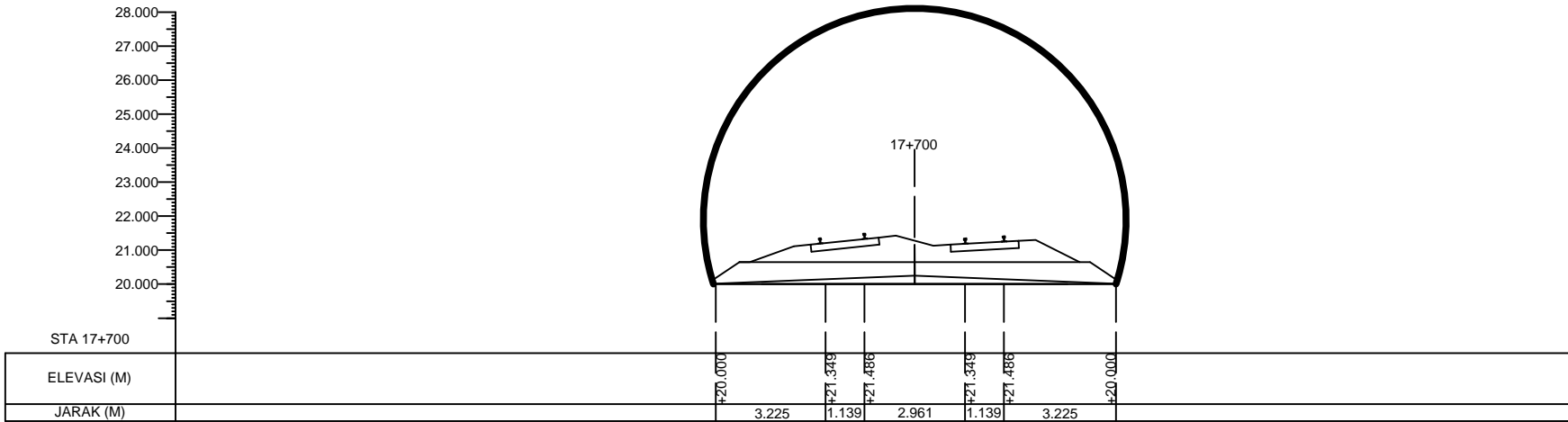
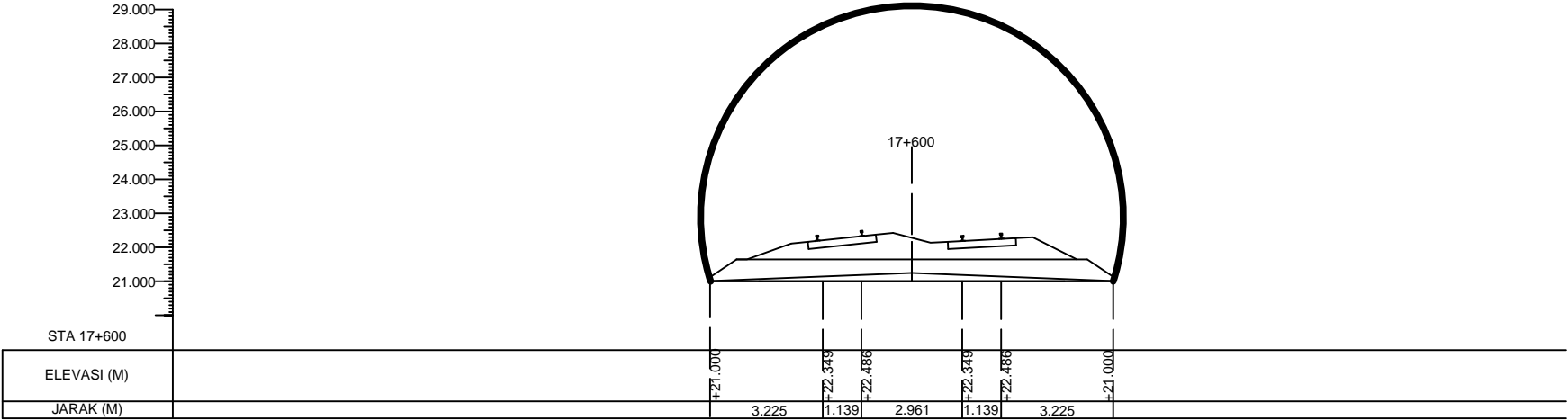
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN JURUSAN TEKNIK SIPIL	JUDUL TUGAS AKHIR	DOSEN PEMBIMBING	MAHASISWA		JUDUL GAMBAR	UKURAN	LEMBAR	JML LEMBAR	SKALA
	PERENCANAAN TRASE JALAN KERETA API	BUDI RAHARDJO, ST,MT	SHARA HAZUBI	3111100092	POTONGAN MELINTANG BADAN JALAN	A4			1:200



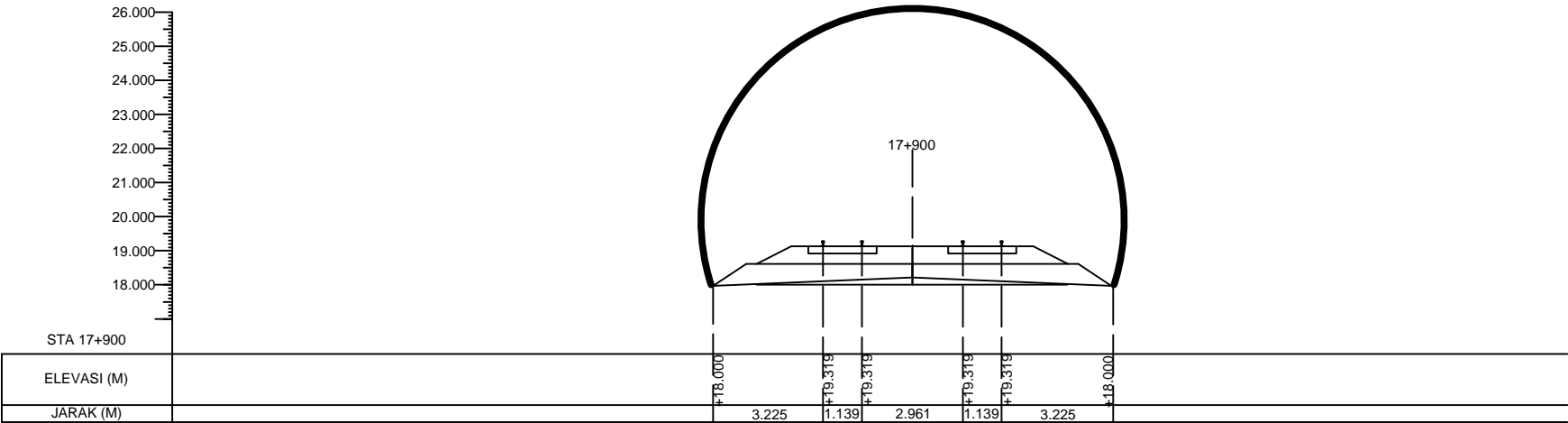
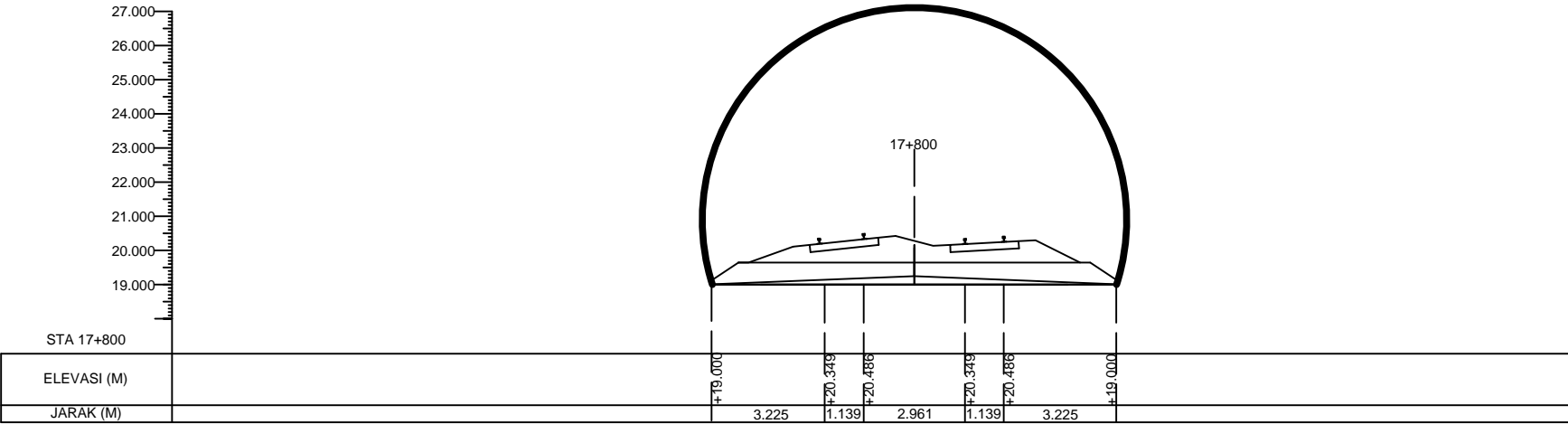
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN JURUSAN TEKNIK SIPIL	JUDUL TUGAS AKHIR	DOSEN PEMBIMBING	MAHASISWA		JUDUL GAMBAR	UKURAN	LEMBAR	JML LEMBAR	SKALA
	PERENCANAAN TRASE JALAN KERETA API	BUDI RAHARDJO, ST,MT	SHARA HAZUBI	3111100092	POTONGAN MELINTANG BADAN JALAN	A4			1:200



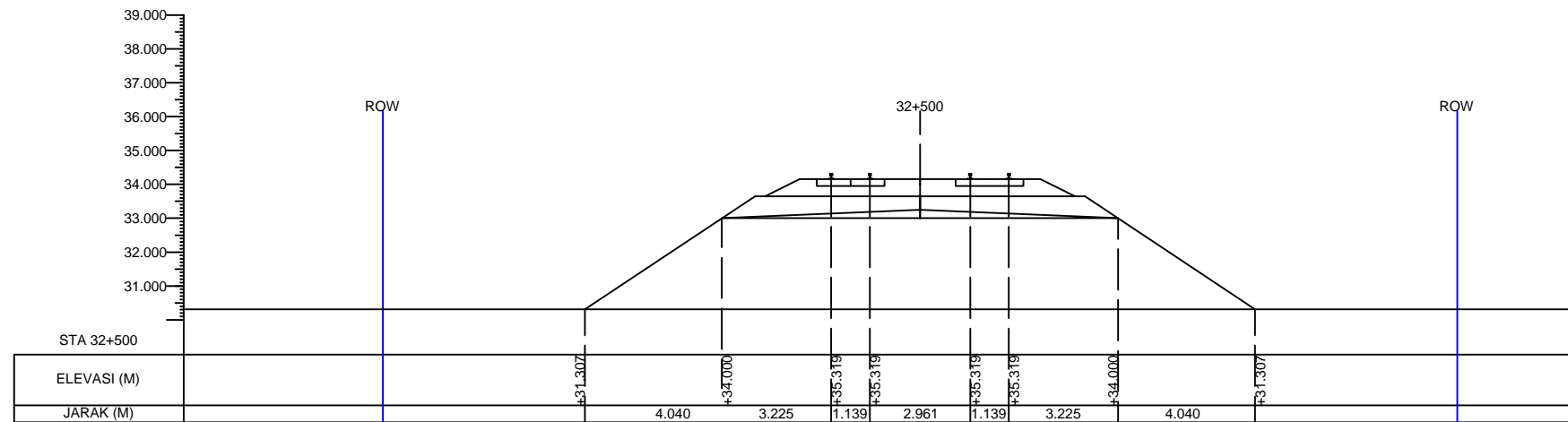
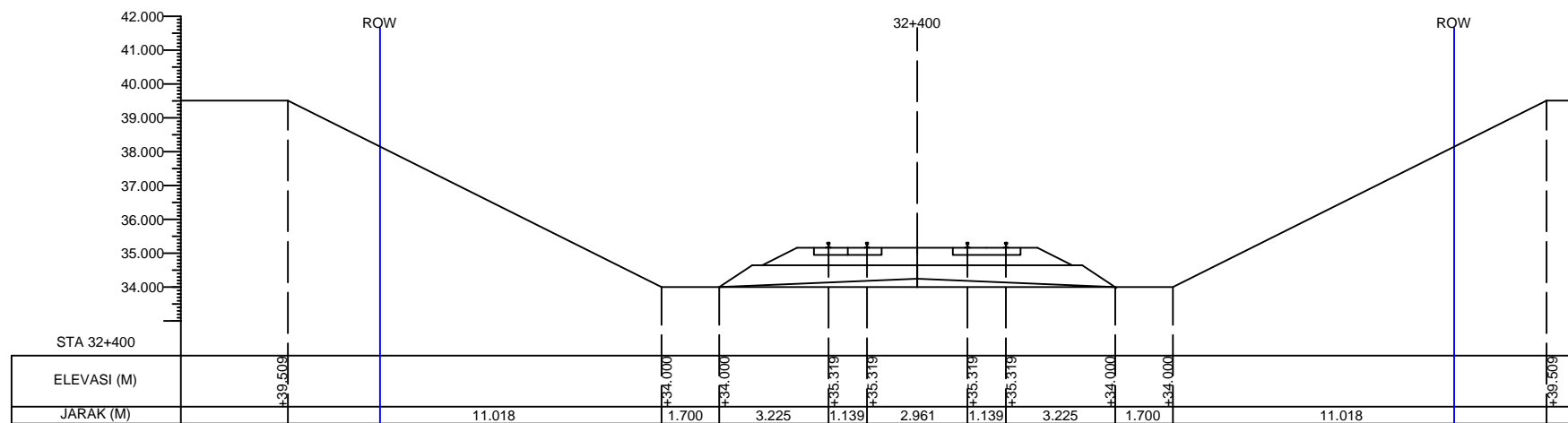
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN JURUSAN TEKNIK SIPIL	JUDUL TUGAS AKHIR	DOSEN PEMBIMBING	MAHASISWA		JUDUL GAMBAR	UKURAN	LEMBAR	JML LEMBAR	SKALA
	PERENCANAAN TRASE JALAN KERETA API	BUDI RAHARDJO, ST,MT	SHARA HAZUBI	3111100092	POTONGAN MELINTANG BADAN JALAN	A4			1:200



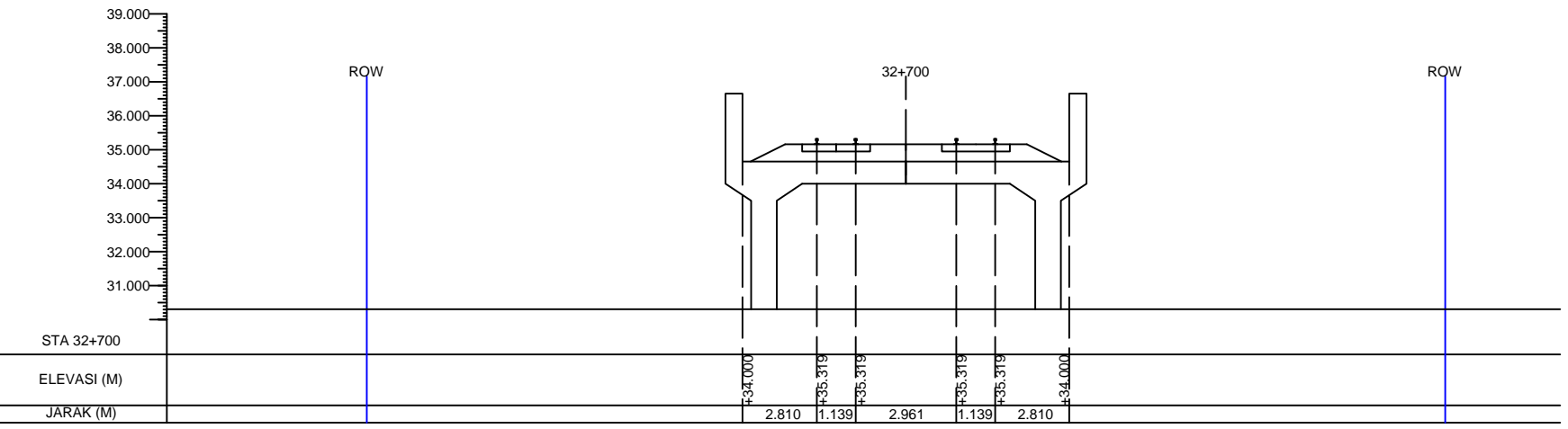
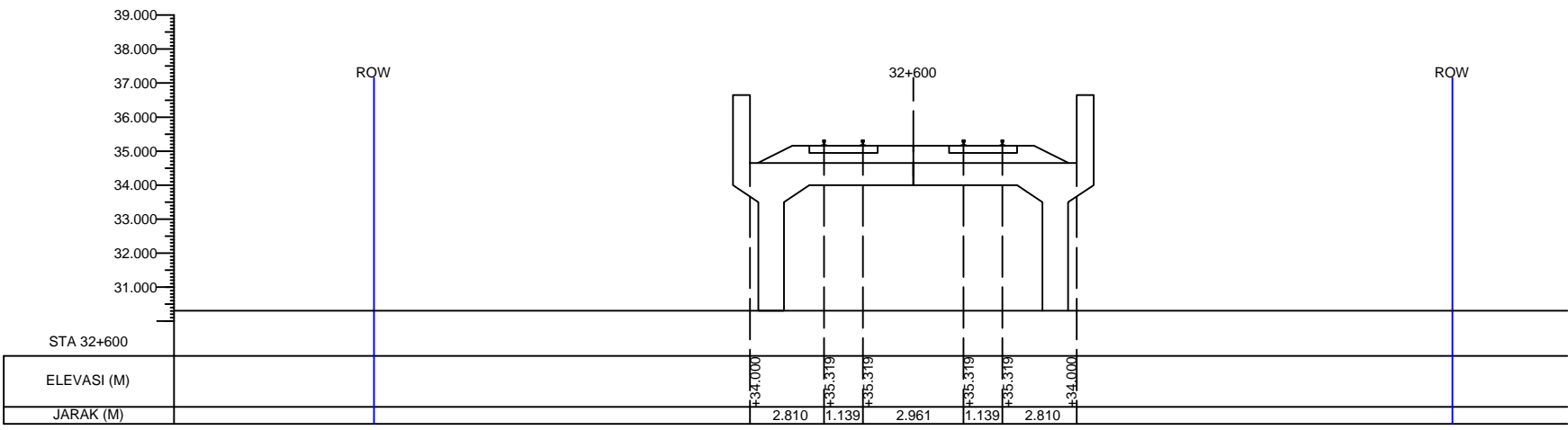
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN JURUSAN TEKNIK SIPIL	JUDUL TUGAS AKHIR	DOSEN PEMBIMBING	MAHASISWA		JUDUL GAMBAR	UKURAN	LEMBAR	JML LEMBAR	SKALA
	PERENCANAAN TRASE JALAN KERETA API	BUDI RAHARDJO, ST,MT	SHARA HAZUBI	3111100092	POTONGAN MELINTANG BADAN JALAN	A4			1:200



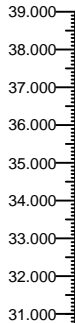
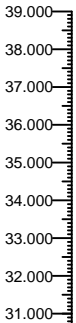
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN JURUSAN TEKNIK SIPIL	JUDUL TUGAS AKHIR	DOSEN PEMBIMBING	MAHASISWA		JUDUL GAMBAR	UKURAN	LEMBAR	JML LEMBAR	SKALA
	PERENCANAAN TRASE JALAN KERETA API	BUDI RAHARDJO, ST,MT	SHARA HAZUBI	3111100092	POTONGAN MELINTANG BADAN JALAN	A4			1:200



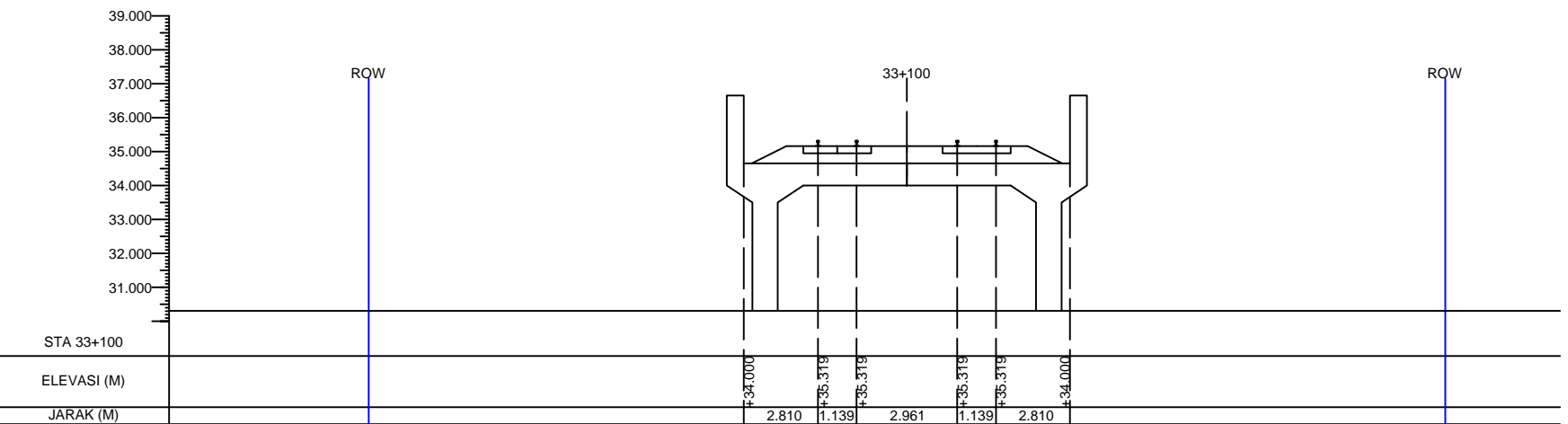
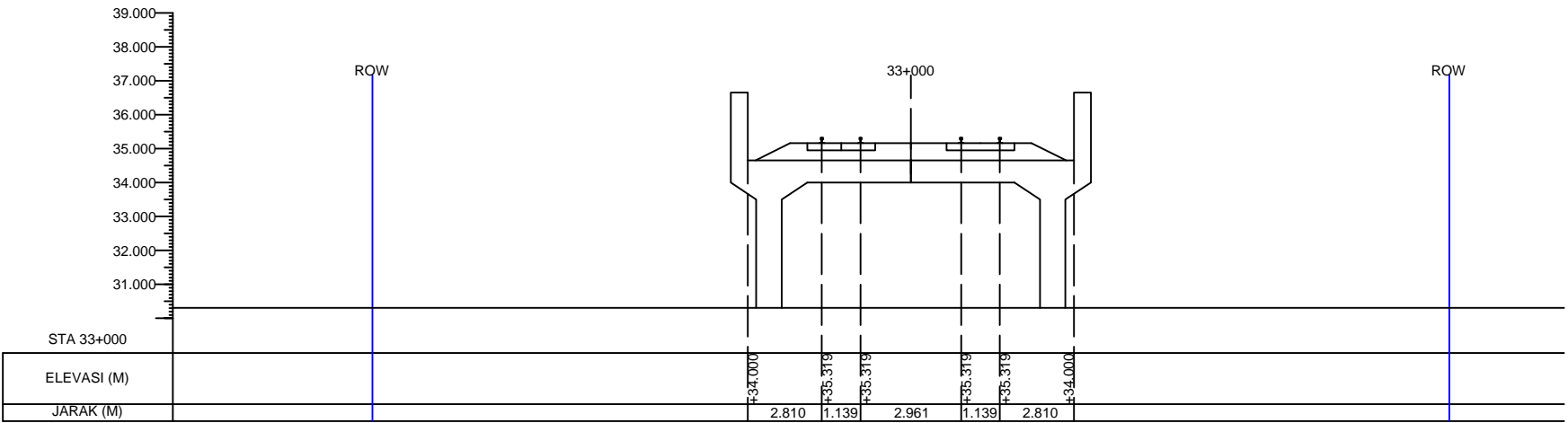
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN JURUSAN TEKNIK SIPIL	JUDUL TUGAS AKHIR	DOSEN PEMBIMBING	MAHASISWA		JUDUL GAMBAR	UKURAN	LEMBAR	JML LEMBAR	SKALA
	PERENCANAAN TRASE JALAN KERETA API	BUDI RAHARDJO, ST,MT	SHARA HAZUBI	3111100092	POTONGAN MELINTANG BADAN JALAN	A4			1:200



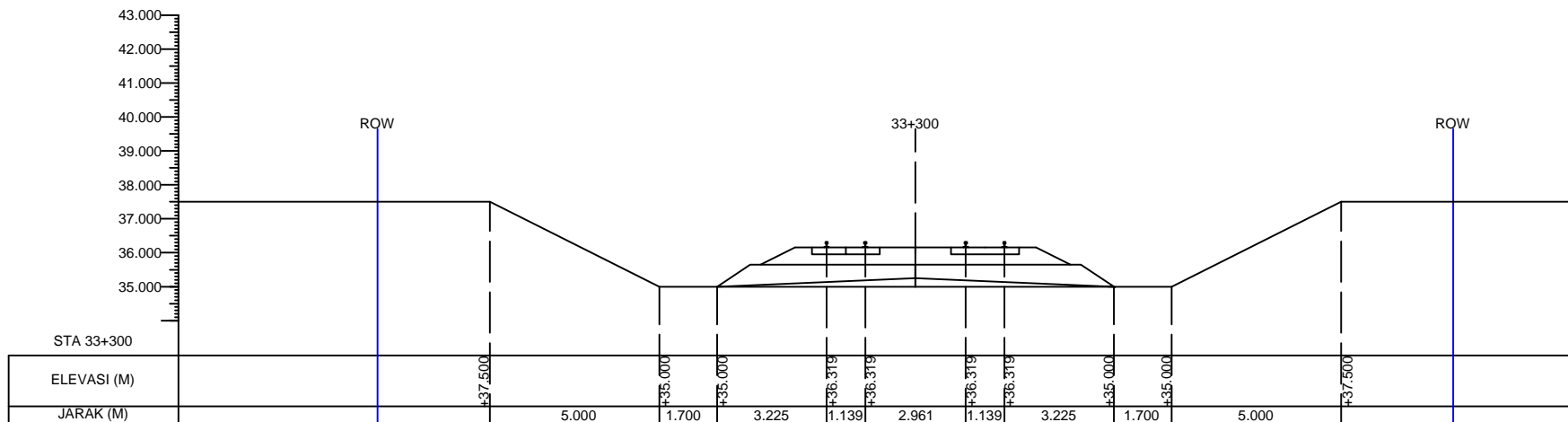
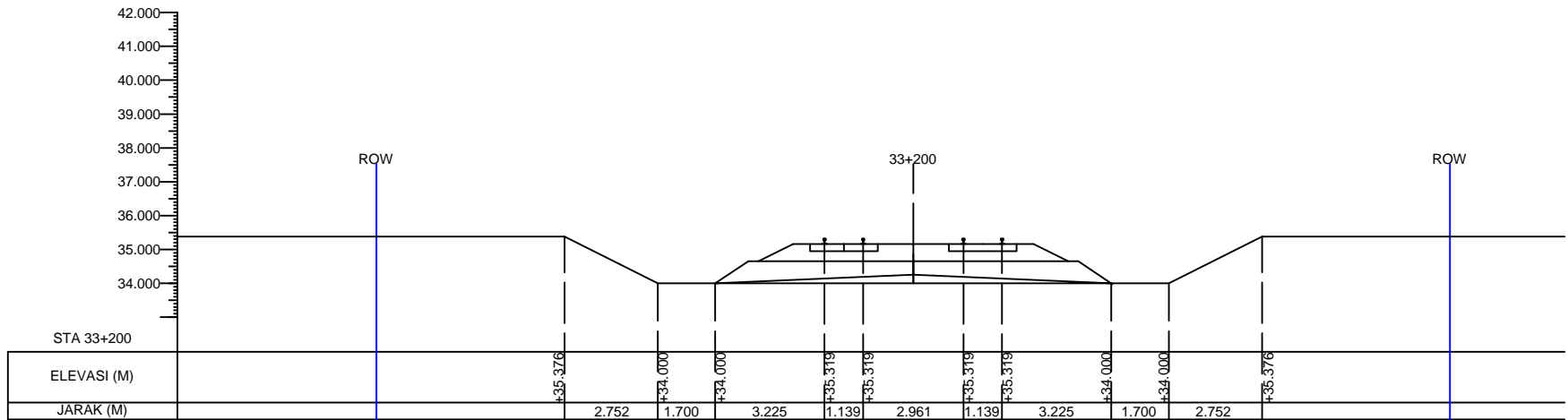
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN JURUSAN TEKNIK SIPIL	JUDUL TUGAS AKHIR	DOSEN PEMBIMBING	MAHASISWA		JUDUL GAMBAR	UKURAN	LEMBAR	JML LEMBAR	SKALA
	PERENCANAAN TRASE JALAN KERETA API	BUDI RAHARDJO, ST,MT	SHARA HAZUBI	3111100092	POTONGAN MELINTANG BADAN JALAN	A4			1:200



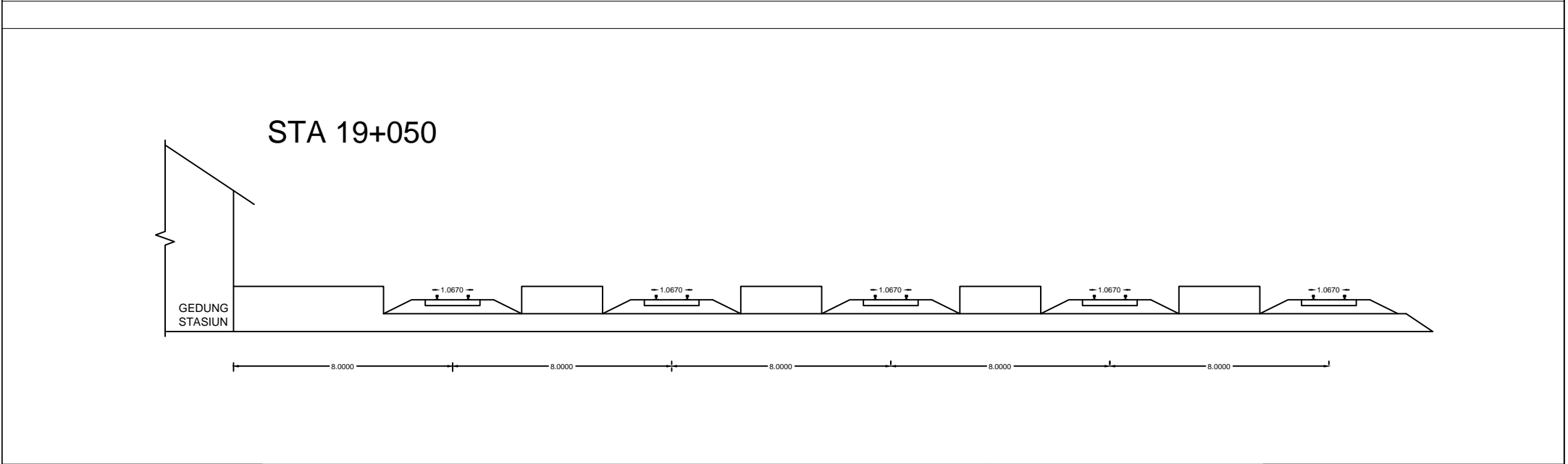
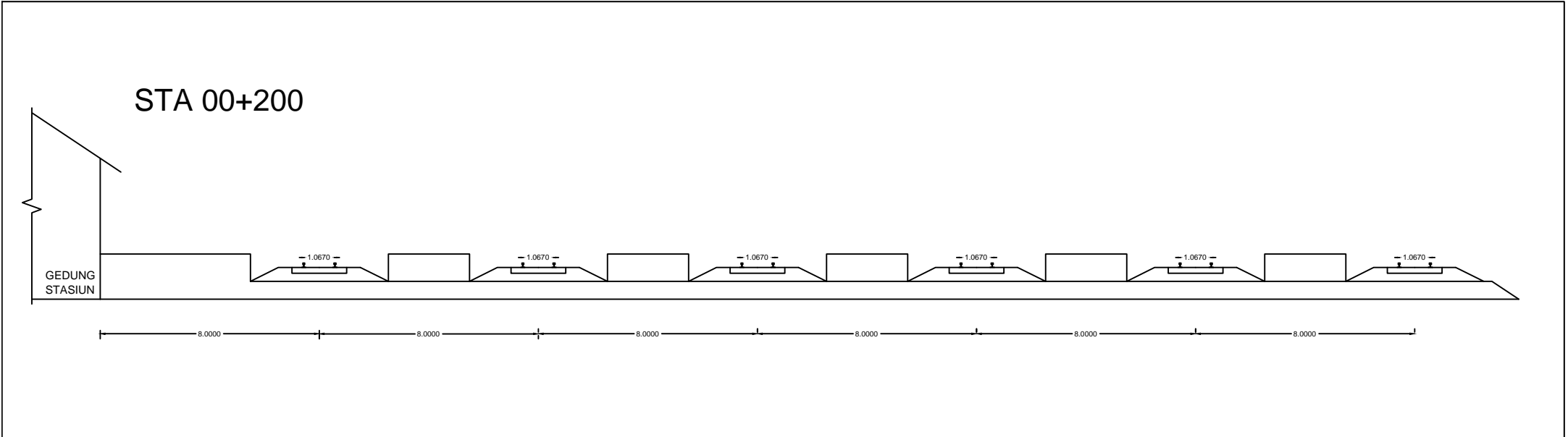
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN JURUSAN TEKNIK SIPIL	JUDUL TUGAS AKHIR	DOSEN PEMBIMBING	MAHASISWA		JUDUL GAMBAR	UKURAN	LEMBAR	JML LEMBAR	SKALA
	PERENCANAAN TRASE JALAN KERETA API	BUDI RAHARDJO, ST,MT	SHARA HAZUBI	3111100092	POTONGAN MELINTANG BADAN JALAN	A4			1:200



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN JURUSAN TEKNIK SIPIL	JUDUL TUGAS AKHIR	DOSEN PEMBIMBING	MAHASISWA		JUDUL GAMBAR	UKURAN	LEMBAR	JML LEMBAR	SKALA
	PERENCANAAN TRASE JALAN KERETA API	BUDI RAHARDJO, ST,MT	SHARA HAZUBI	3111100092	POTONGAN MELINTANG BADAN JALAN	A4			1:200

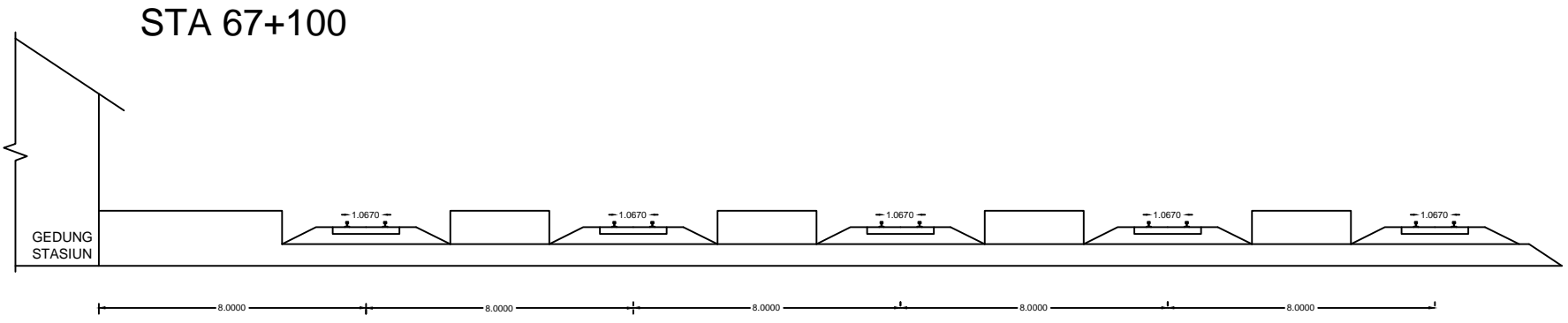


INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN JURUSAN TEKNIK SIPIL	JUDUL TUGAS AKHIR	DOSEN PEMBIMBING	MAHASISWA		JUDUL GAMBAR	UKURAN	LEMBAR	JML LEMBAR	SKALA
	PERENCANAAN TRASE JALAN KERETA API	BUDI RAHARDJO, ST,MT	SHARA HAZUBI	3111100092	POTONGAN MELINTANG BADAN JALAN	A4			1:200



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN JURUSAN TEKNIK SIPIL	JUDUL TUGAS AKHIR	DOSEN PEMBIMBING	MAHASISWA		JUDUL GAMBAR	UKURAN	LEMBAR	JML LEMBAR	SKALA
	PERENCANAAN TRASE JALAN KERETA API	BUDI RAHARDJO, ST,MT	SHARA HAZUBI	3111100092	POTONGAN MELINTANG EMPLASEMEN STASIUN	A4			1:200

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN JURUSAN TEKNIK SIPIL	JUDUL TUGAS AKHIR	DOSEN PEMBIMBING	MAHASISWA		JUDUL GAMBAR	UKURAN	LEMBAR	JML LEMBAR	SKALA
	PERENCANAAN TRASE JALAN KERETA API	BUDI RAHARDJO, ST,MT	SHARA HAZUBI	3111100092	POTONGAN MELINTANG EMPLASEMEN STASIUN	A4			1:200



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN JURUSAN TEKNIK SIPIL	JUDUL TUGAS AKHIR	DOSEN PEMBIMBING	MAHASISWA		JUDUL GAMBAR	UKURAN	LEMBAR	JML LEMBAR	SKALA
	PERENCANAAN TRASE JALAN KERETA API	BUDI RAHARDJO, ST,MT	SHARA HAZUBI	3111100092	POTONGAN MELINTANG EMPLASEMEN STASIUN	A4			1:200